

Die Denudation in der Wüste und ihre geologische Bedeutung

Johannes Walther


LELAND·STANFORD·JVNIOR·VNIVERSITY



ABHANDLUNGEN

SIEBENUNDZWANZIGSTER BAND.

ABHANDLUNGEN

DER KÖNIGLICH SÄCHSISCHEN

GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN.



SIEBENUNDZWANZIGSTER BAND.

MIT 19 TAFELN UND 103 FIGUREN.

LEIPZIG

BEI S. HIRZEL.

1891.

ABHANDLUNGEN

DER MATHEMATISCH-PHYSISCHEN CLASSE

DER KÖNIGLICH SÄCHSISCHEN

GESELLSCHAFT DER WISSENSCHAFTEN.



SECHZEHNTER BAND.

MIT 19 TAFELN UND 103 FIGUREN.

LEIPZIG

BEI S. HIRZEL.

1891.

INHALT.

DIE
DENUDATION IN DER WÜSTE
UND IHRE
GEOLOGISCHE BEDEUTUNG

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE BILDUNG DER SEDIMENTE
IN DEN ÄGYPTISCHEN WÜSTEN

VON

JOHANNES WALTHER,
A. O. PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT JENA

Des XVI. Bandes der Abhandlungen der mathematisch-physischen Classe
der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften

Nº III.

MIT 8 TAFELN UND 99 ZINKÄTZUNGEN.

LEIPZIG
BEI S. HIRZEL
1891.

212470

Das Manuscript eingeliefert am 20. October 1890.
Der Druck beendet am 19. Januar 1891.

DIE

DENUDATION IN DER WÜSTE

UND IHRE

GEOLOGISCHE BEDEUTUNG.

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE BILDUNG DER SEDIMENTE
IN DEN ÄGYPTISCHEN WÜSTEN

VON

JOHANNES WALTHER.

Ein grosser Theil der Erdrinde ist mit Gesteinen bedeckt, deren Eigenschaften den Schluss erlauben, dass sie weder die ursprüngliche Erstarrungskruste der Erde darstellen, noch feurigflüssig aus dem Erdinnern hervorgedrungen sind. Vielmehr lassen dieselben leicht erkennen, dass sie unter dem Einfluss des Wassers, des Gletschereises oder des Windes abgelagert worden sind, dass sie aus den Überresten von Pflanzen, den Skeletten von Thieren oder aus den Bruchstücken schon bestehender Felsarten zusammengesetzt und gebildet worden sind. Und an den Geologen, der es sich zur Aufgabe macht, die Entstehung dieser »Sedimentgesteine« zu erforschen, tritt die Aufgabe heran, diejenigen Vorgänge zu untersuchen und verfolgen, welche heutzutage Gesteinsmaterial erzeugen und Gesteine bilden. Indem wir derartige Vorgänge der Gegenwart kennen lernen, werden wir in den Stand gesetzt, ein empierisch begründetes Urtheil abzugeben über Processe, die sich vor Jahrmillionen abgespielt haben, deren Resultate in den Sedimentgesteinen der geologischen Formationen uns entgegentreten. Die Vorgänge der Gegenwart werden uns ein Schlüssel für die Räthsel der Vergangenheit.

Manche dieser Probleme der dynamischen Geologie sind überall und ohne Mühe zu studieren. Die Schuttablagerung im Bette oder an der Mündung eines Flusses, die Bildung der Moränen an den Gletschern, die Entstehung des Meeressandes an den Küsten, die Eruptionen eines Vulkanes, das sind Vorgänge, welche leicht zu beobachten sind und deren Schilderungen daher in geologischen Lehrbüchern einen breiten Raum einnehmen. Lückenvoller sind aber schon die Abschnitte über die Vorgänge am Meeresgrunde über die Bildung der Korallenriffe und besonders über die geologischen

Vorgänge im Tropenlande und in den Wüsten. Obwohl es sich leicht nachweisen lässt, dass viele Gebiete der jetzigen gemässigten oder kalten Zone früher ein tropisches Klima besassen und demzufolge durch geologische Perioden hindurch unter dem Einfluss der meteorologischen Kräfte des Tropenklimas standen, so sucht man doch meist vergeblich nach einer Schilderung der letzteren und einer Würdigung derselben für geologische Betrachtungen. In v. RICHTHOFEN's »Führer für Forschungsreisende« wird, meines Wissens zum erstenmale, der Versuch gemacht, ausser dem fliessenden und dem gefrorenen Wasser auch Tropenregen und Wüstenwind in die Reihe der geologisch wirksamen Kräfte ihrer Bedeutung gemäss einzuordnen.

Aber auch noch von einen anderen Gesichtspunkt erscheint das Studium der Tropen- und Wüstenländer für die Geologie nutzbringend. In unseren gemässigten Zonen beobachten wir eine complicierte Vereinigung sehr verschiedenartiger meteorologischer Kräfte. Trockne und feuchte Luft, Regen und Sonne, Eis und Hitze wirken zu verschiedenen Jahreszeiten abwechselnd auf die Felsen ein, um sie zu zerstören, und schwer ist es, die Wirkungssphäre jeder einzelnen dieser Kräfte gegen die andere abzugrenzen. Wollen wir daher die geologische Thätigkeit unseres winterlichen Eises verstehen und würdigen lernen, so müssen wir nach dem Polargebiet gehen, wo die geologische Thätigkeit des Eises alle andern meteorologischen Kräfte an Leistungsfähigkeit übertrifft; wollen wir untersuchen, welchen Einfluss Gewittorregen ausüben, so gilt es die Tropen aufzusuchen, wo diese eine lango Zeit des Jahres unumschränkt herrschen; und wenn wir untersuchen wollen, welche Wirkungen vom Wind und von dem Wechsel der Temperatur vollzogen werden, dann müssen wir in die Wüste reisen, wo trockene Luft und Sandstürme ununterbrochen regieren und wo dio geologische Thätigkeit der Atmosphärilien im Wesentlichen durch diese beiden Factoren bestimmt wird. Die Kenntniss dieser typischen, wenn auch extremen Denudationsprocesse lehrt uns dann leicht die minder bedeutenden Erscheinungen solcher Art in Europa verstehen.

Geologischo Thatsachen lassen mit einiger Sicherheit erkennen, dass die Vertheilung von Wasser und Land, von Klima und Vegetation in vergangenen Erdepochen eine wesentlich andere gewesen

sei, als heutzutage. Blätter und Blüthen des Brotfruchtbaumes findet man in den tertiären Schichten Grönlands, und Mollusken des Polarmeeres haben ihre Schalen in den fossilen Schichten Siciliens hinterlassen als Zeugen eines kälteren Klimas in südlichen Breiten. Da aber Tropenklima und arktisches Glacialgebiet im Laufe der Zeiten andere Räume auf der Erdoberfläche einnahmen als in der Gegenwart, so ist es naheliegend anzunehmen, dass auch Steppen und Wüstengebiete in der Vergangenheit anders vertheilt waren, dass wir ihre fossilen Überreste in den Schichten der Erdrinde ebenso entdecken werden, wie fossile Moränen oder Ablagerungen des Tropenklimas. Wenn es also gelingen soll, die Reste »fossiler Wüsten« zu erkennen, so müssen wir zuerst die Ablagerungen studieren, welche sich vor unseren Augen in den gegenwärtigen Wüsten bilden.

Endlich sind gerade die ägyptischen Wüsten vortrefflich geeignet, um das Problem zu studieren, ob in historisch messbarer Zeit eine Veränderung des Klimas eingetreten sei. Den Geologen interessirt es lebhaft zu wissen, innerhalb welcher Zeiträume das Klima constant oder wechselnd ist. Der Wunsch, die klimatischen Veränderungen der Vorzeit nach Jahren zu bestimmen, dürfte sich nirgends leichter ausführen lassen, als in dem Lande, welches die ältesten Denkmale von Menschenhand besitzt und wo seit 5000 Jahren historisch datierte Inschriften dem Felsen eingemeiselt sind, so dass es nicht schwer fällt, meteorologische und geologische Phänomene mit diesen Zeitangaben zu verknüpfen.

Diese Erwägungen waren es, welche mich bestimmten, eine längere Reise durch die ägyptischen Wüsten zu unternehmen. Ich wollte weder unbekannte Gebiete topographisch durchforschen, noch geologische Profile im Einzelnen stratigraphisch untersuchen, sondern die Fragen, welche ich mir stellte, waren folgende:

Welche meteorologischen Kräfte sind in der Wüste thätig?

Wie zerstören dieselben die Felsen?

Was ist das Endresultat dieser Processe?

Ist das Relief der heutigen Wüste unter dem Einfluss anderer Kräfte entstanden, als heutzutage dort wirksam sind?

Woran erkennt man fossile Wüsten?



Ich habe mich bestrebt, möglichst unbefangen diese Probleme zu untersuchen und einige hoffe ich ihrer Lösung näher gebracht zu haben. Bei der Bedeutung aber, die Luft und Wind für die Umbildung der Erdoberfläche nicht nur in der Wüste besitzen, habe ich, ausser meinen eigenen Beobachtungen, alle gut beobachteten Thatsachen, die ich bei meinen Literaturstudien fand, dieser Arbeit eingefügt, in der Hoffnung, dadurch die wichtigsten Daten über die geologische Thätigkeit des Windes den Fachgenossen zu sammeln.

Manche Thatsache, deren Tragweite ich nicht genügend würdige, wird vielleicht Anderen nützen und ihnen Erscheinungen erklären helfen, die bis dahin räthselhaft waren.

Die Reise wurde im Frühjahr 1887 unternommen mit Unterstützung der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig. (Bei einem zweiten Aufenthalt in Ägypten im Frühjahr 1889 hatte ich Gelegenheit auf mehreren Excursionen meine früheren Beobachtungen zu ergänzen.) Über die auf derselben Reise von mir angestellten Untersuchungen der Korallenriffe habe ich in diesen Abhandlungen Bd. XXIV geschrieben. In vorliegender Studie veröffentliche ich die zweite Hälfte der von mir damals gemachten Beobachtungen, und die Königliche Gesellschaft der Wissenschaften verpflichtet mich zu erneutem Dank durch die Aufnahme auch dieser Arbeit in die Schriften der Gesellschaft und die freigebige Ausstattung derselben mit Illustrationen und Tafeln.

Wollte ich meine oben angeführten Probleme vergleichend studieren und dadurch eine grössere Sicherheit meiner eventuellen Resultate erzielen, so musste ich die Wüste in ihrer Mannigfaltigkeit sehen und weniger die gleichartigen Sandebenen, als die Ränder der Gebirge aufsuchen, um dort eine grössere Anzahl verschiedenartiger Gesteine unter dem Einfluss der wüstenbildenden Kräfte zu untersuchen. Nachdem ich die weitere Umgebung von Cairo auf mehreren Tagereisen kennen gelernt hatte, ritt ich von Sues längs der Küsten des Rothen Meeres bis Râs Abû Senîme, zog von hier durch Uâdi Budra, Uâdi Mokátteb, Uâdi Feirân, Uâdi Hebrân nach Tôr, um hier einige Wochen lang Riffstudien zu machen. Dann miethete ich neue Dromedare und zog, die Wüste Gaâ mehrmal kreuzend, bis zum Râs Muhámmed und durch die Randgebirge der südlichen Sinaihalbinsel nach Tôr zurück. Von dort ritt ich durch das Arabagebirge bis Râs Abû

Senîme und segelte auf einem arabischen Fischerboot von hier nach der afrikanischen Küste, einer Einladung Professor Schweinfurth's nach dem Uâdi Arabâh folgend. Gemeinsam zogen wir dann nach dem Kloster St. Anton und durch das Uâdi Ashar nach dem Plateau der südlichen Galâla, wo wir mehrere Tage im Uâdi Omm Ruthi lagerten. Von hier kehrte ich, nur von zwei Maâsibeduinen begleitet, nach dem Uâdi Arabâh zurück und erreichte nach sechstägigem Ritt durch Uâdi Abû Rimth, Uâdi Ssannûr, Uâdi el Schêb das Nilthal bei Beni Suéf.

Dem verehrten Manne aber, unter dessen Führung ich meine ersten Wüstenexcursionen unternahm, der mich vertraut machte mit der Wüste und ihren Räthseln, in dessen Zelt ich unvergessliche Tage verlebt habe, Herrn Professor Dr. Schweinfurth möchte ich an dieser Stelle von Herzen danken für alle Anregung und Förderung, die er mir in so reichem Maasse zu Theil werden liess. Er hat in mir manchen Gedanken angeregt, den ich hier weiter ausgeführt habe, und meine eigene Leistung erscheint mir klein und unbedeutend verglichen mit dem reichen Schatz von Erfahrungen und Urtheilen, den er auf mich übertrug.

Auch fühle ich mich zu grossem Dank verpflichtet gegenüber Herrn Hofrath Perthes und den Beamten des Geographischen Instituts in Gotha, für die Erlaubniss, die reiche Bibliothek seltener und kostbarer Werke über die nordafrikanische Wüste benutzen zu dürfen.

Einen kurzen Bericht über meine Wüstenstudien habe ich in den Verhandlungen der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 1888 Nr. 6 veröffentlicht, eine Anzahl hierhergehöriger Beobachtungen finden sich erwähnt in meiner Abhandlung »Die Korallenriffe der Sinaihalbinsel« und endlich habe ich über »Kantengerölle aus der Galalawüste« in den Berichten der Königl. Ges. der Wissenschaften (Nov. 1887) Mittheilungen gemacht.



I. Meteorologie der Wüste.

Wer zum ersten Male die scharfe Grenze überschreitet, welche den fruchtbaren Schlamm des Nilthales von der leblosen Wüste trennt, und mit aufmerksamem Auge die Conturen der Wüstenberge, den Kies des Bodens und die Gehänge der Thäler betrachtet, oder selbst wer die naturwahren Wüstenbilder von Remelé[1]), Zittel[2]), Bernard[3]) und anderen Forschern kritisch ansieht, dem muss es auffallen, dass die Oberflächenformen in der Wüste sich gründlich unterscheiden von den topographischen Typen, welche wir in der gemässigten Zone oder im Tropenlande zu sehen gewohnt sind.

Es ist nicht nur der Mangel der Vegetation, nicht nur die weite Verbreitung des Sandes, nicht nur die grelle Schattenvertheilung, die auf einem guten Wüstenbild charakteristisch erscheinen, sondern die Form der Berge, das Profil der Thäler, die Beschaffenheit der Schutthalden, die Gestalt der Gesteinsblöcke, die Oberfläche der Felsen, die Verbindung weiter Ebenen und isoliert daraus hervortretender Berge, — Alles sieht anders aus, als die entsprechenden Erscheinungen in Europa. Und wer für solche Bilder ein aufmerksames Auge hat, der wird beim Antritt einer Wüstenreise viel mehr als durch die ungewohnte zigeunerartige Lebensweise, durch die vollkommen neue und ungewohnte Umgebung überrascht. Hat man aber erst einige Wochen in der Wüste zugebracht, so hat man sich, sonderbarerweise, so sehr an die eigenartigen Erschei-

---

1) Remelé, Photographien von der Rohlfs'schen Expedition in die lybische Wüste.

2) Zittel, Beiträge zur Geologie der libyschen Wüste, Palaeontographica, Bd. XXX.

3) Bernard, Quatre mois dans le Sahara, Paris 1881.

nungen gewöhnt, dass man sie als etwas Selbstverständliches hinnimmt, und die Fähigkeit verliert, sie als etwas Besonderes zu betrachten. Ich habe an mir selbst die Erfahrung gemacht, dass ich nach 70 tägiger Kamelreise kaum mehr im Stande war meine Beobachtungen weiterzuführen, weil ich in den Zeugen und Circusbildungen, in den Neulingen und den geschwärzten Felsen Gewohntes erblickte und diese Erscheinungen als so selbstverständlich hinnahm, wie das salzige Trinkwasser und die ungesäuerten Mehlfladen.

Daraus erkläre ich es mir, dass manche höchst sonderbaren Phänomene, welche die Wüste bietet, von hervorragenden Reisenden gering geachtet worden sind; bei Beginn der Reise wird alle Thätigkeit durch die Reise selbst in Anspruch genommen, später ist der Reisende an die Wüste gewöhnt, und erkennt nicht mehr das Neue.

Ich war auf einem Theil meiner Reise durch die Gastfreundschaft, die mir Herr Professor SCHWEINFURTH gewährte, aller Sorge um die Reise selbst enthoben[1]). Daher habe ich manche Erscheinung genauer und eingehender verfolgen können, als es mir möglich gewesen wäre, wenn ich mich um die Karawane viel hätte kümmern müssen.

Eine Erscheinung, welche mir beim Studium der Wüstenliteratur ebenfalls auffiel ist die, dass viele Reisende geneigt sind anzunehmen, dass die Bildung der Wüste durch andere, der jetzigen Wüste fremde Kräfte erfolgt sei. Gewaltige Wasserfluthen, Meereswogen, ja sogar Gletscher werden als formgebende Factoren angenommen, ohne dass man sich die Frage vorlegte, ob nicht dieselben Kräfte, welche heutzutage in der Wüste herrschen, auch die sonderbaren Erscheinungsformen der Wüste zustande bringen konnten.

Ehe ich daher die Wüstenbildungen selbst behandle, muss ich eine kurze Übersicht der wüstenbildenden Kräfte geben; nur dann werden wir mit Kritik an die Beurtheilung ihrer Wirkungsart herantreten können.

1) Am Sinai gestattete mir die Tüchtigkeit meines Dolmetschers Herrn ALFRED KAISER z. Z. in Tôr am Sinai, ganz meinen Problemen leben zu können.



1. Regenniederschläge.

»Das Wort Wüste ist ursprünglich ein pflanzengeographischer Begriff und bezeichnet einen völlig oder beinahe völlig von Pflanzen entblösten Boden«[1]. Da aber der Pflanzenwuchs selbst eine Folgeerscheinung eines bestimmten Klimas ist, so müssen wir bei unseren Betrachtungen von den klimatischen Factoren ausgehen. Auch ROHLFS, welcher die Wüste kennt wie Wenige, sagt: »Die Wüste ist das Gebiet, in dem kein regelmässiger feuchter Niederschlag stattfindet, wo deshalb kein, Pflanze wächst, die des Regens bedarf, und wo kein grosses vierfüssiges Raubthier lebt«[2], und wenn ich endlich RUSSEGGER erwähnen darf, der die Grenzen der afrikanischen Wüsten nach Süden überschritt, so sagt der[3]: »Die Wüsten, im eigentlichen Sinne des Wortes, enden mit der Grenze der tropischen Regen, doch nicht plötzlich, sondern nur allmählich in jenes Terrain übergehend, das in der Regenzeit eine mit dichtem Gras bewachsene Fläche, in der trockenen Jahreszeit ein dürres Stoppelfeld darstellt und zum Theil mit Mimosenwäldern von ungeheuerer Ausdehnung bedeckt ist. Diesen Übergang in Savannenland sieht man am deutlichsten in der Bahiuda.«

Es wäre irrthümlich, wollte man annehmen, dass es in der Wüste überhaupt nicht regne; nur regelmässige Niederschläge sind der Wüste fremd.

In In-Sâlah am Fusse des Ahaggâr hatte es 20 Jahre lang nicht ein einziges Mal geregnet, obwohl nicht fern von da im Gebirge Schnee fällt[4]. In Innerarabien verlangt man für einen guten Jahrgang, dass es in 12 Jahren zehnmal je eine halbe Stunde regnet, und EUTING[5] beobachtete einen dreitägigen Regen, wie sie nur alle 30 Jahre vorkommen. Am 4. Februar 1874 fiel in Dachel ein ausgiebiger Landregen, wie sie in dieser Oase durchschnittlich alle 2—3 Jahre einmal vorkommen[6]. Der Regen, den die ROHLFS'sche Expedition erlebte,

1) PESCHEL, Neue Probleme, S. 154.

2) G. ROHLFS, Quer durch Africa, S. 195.

3) J. RUSSEGGER, Reisen in Europa, Asien und Africa, Bd. II, S. 525.

4) DUVEYRIER, Les Touareg du Nord, p. 118.

5) EUTING, Verh. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin 1886, S. 270.

6) ROHLFS in litt. Weserzeitung 11. März 1874.

Nach Aussage des Scheich el Beled von Dachel findet alle 2—3 Jahre dort ein stärkerer Landregen statt.

am »Regenfeld« in der libyschen Wüste, ergab 16 mm Niederschlag[1]), und Jordan beschreibt einen zwar regenlosen doch feuchten Morgen am 24. Januar 1884: »Die aufgehende Sonne zeigte den, nun leider nicht mehr unbekannten gelbgrauen Samumhimmel, und als grosse Merkwürdigkeit einen ganz nassen Erdboden. Die Zeltwände waren nass wie von einem Regen und das Hygrometer zeigte fast 1000° relative Feuchtigkeit.«

Als ich am 4. April 1887 in der südlichen Sinaihalbinsel reiste und gegen Abend Regenwolken im Westen aufstiegen, erzählten meine Beduinen, dass es seit drei Jahren nicht geregnet habe und waren nicht eher von der Nähe des Gewitters zu überzeugen, bis der Regenguss unter Donner und Blitz herniederstürzte. Da alle Regen in der Wüste als Strichregen auftreten, kann es vorkommen, dass gewisse Gebiete Jahrhunderte hindurch nie einen Tropfen Regen erhalten.

»Regengüsse[2]) sind nicht von langer Dauer, kommen aber in den verschiedensten Thälern gar nicht selten zur Beobachtung und werden durch die Plötzlichkeit ihres Auftretens oft gefährlich. Fast alljährlich geht eine Anzahl von Eseln, Schafen und Ziegen bei der allzuplötzlichen Füllung eines Flussbettes zu Grunde und selbst Kamele unterliegen nicht selten diesem allzu reichen Segen des Himmels.«

»Da der Regen[3]) in einem Wüstenlande wegen seiner meist sehr grossen Heftigkeit und der Vegetationsarmuth nur wenig in den Boden dringt, so kann fast die ganze Kraft auf Fortführung fester Massen verwendet werden. Hierdurch werden die zuweilen hunderte von Kilometer langen Wadi's in ihrer Gestalt erhalten, und Felsmassen, welche von continuierlichen Strömen nicht bewegt werden, werden mit grosser Gewalt in ihnen abwärts getrieben.«

Welche gewaltigen Wassermassen bei einem solchen Wüstenregen herniedergehen, das habe ich am 4. April 1887 selbst beobachten können und mich am folgenden Tage überzeugt von den Verheerungen, die dieses Wasser in den Uâdis angerichtet hatte.

1) Jordan in litt. Kölnische Zeitung 16. April 1874.
2) Nachtigal, Sahara und Sudan I, S. 444.
3) v. Richthofen, Führer für Forschungsreisende p. 154.



Kilometerbreit war das Wasser durch die Thäler geflossen, hatte Schlamm und Geröll, Sand und Gestrüpp weithin verschleppt. Man erzählte mir am Sinai von einer Beduinenfamilie, welche in einem engen Thal durch einen solchen Gewitterregen überrascht, mehrere Menschen und eine Anzahl Dromedare verlor.

»J'ai[1]) eu l'occasion le 30 janvier 1864 étant à Oursel, au pied du Tasîli, d'observer le débordement d'un des nombreux torrents qui descendent de cette montagne. La rapidité du courant était d'un mètre à la seconde et les eaux charriaient des alluvions dans des proportions telles, que je regrette de ne pas en avoir constaté la quantité.«

»Au[2]) printemps de 1862 une pluie d'orage tombée sur le versant Ouest du Ahaggâr amène de telles quantités d'eau dans les vallées d'Idjeloudjâl et de Tarhît qu'elles entraînèrent une partie de la montagne. Trente quatre personnes et un grand nombre de chameaux furent noyés.«

»Avant 1856[3]) sur la rive gauche de l'Ouadi-Titershîn existait une ligne de dunes, du nom d'Azelkha-n-Bôdelkha, assez hautes pour que les chameaux ne pussent les franchir. Advint alors une crue accidentelle dans l'ouâdi et elle eut la puissance de faire disparaître toute la masse du sable qui composait ces dunes.«

Der Mangel einer geschlossenen Vegetationsdecke muss bei Beurtheilung der Wirkung eines Wüstenregens mit in Rechnung gezogen werden. Sehen wir doch häufig genug bei uns in Europa, wie verschieden stark die erodierende Wirkung eines Regengusses auf einer grasbewachsenen Fläche oder auf einem vegetationslosen Stück Ackerland ist. In der Wüste, wo fast aller Boden von Pflanzen entblöst ist, kann daher ein Regenguss unvergleichlich stärker denudieren als in unseren Breiten.

Endlich werden wir von F. von Richthofen[4]) auf einen wichtigen Vorgang aufmerksam gemacht wenn er sagt: »Der periodische

1) Duveyrier, Les Touareg du Nord p. 39.

2) l. c. p. 41.

3) l. c. p. 42.

4) v. Richthofen, Führer für Forschungsreisende p. 153. Bei Besprechung der Uadi-scholter werden wir hierauf zurückkommen.

Wechsel der Wassermassen ist ein sehr wichtiger, vom Klima abhängiger Factor für die Erosion. Ein Fluss, welcher periodisch anschwillt, übt daher eine viel grössere erodierende und transportierende Kraft aus, als ein solcher, welcher bei gleichem Mittel stets dieselbe Wassermasse führt. Es geht daraus hervor, dass das Bett eines Flusses sich nach der Vertheilung der Kräfte bei Hochwasser gestaltet.«

Die erodierende und transportierende Leistung solcher vereinzelter Gewittergüsse in der Wüste wird auch noch dadurch wesentlich gesteigert, dass, mit Ausnahme der Thalsohlen, aller Schutt in der Wüste durch andere Kräfte erzeugt und aufgehäuft wird, als in Europa geschieht. Bei uns dürfte, von Bergstürzen abgesehen, aller Gehängeschutt durch Wasser zusammengetragen und aufgeschichtet worden sein, und leicht fällt es uns, auf den ersten Blick zu unterscheiden, ob eine solche Schuttmasse aus übereinandergestürzten, oder aus zusammengeschwemmten Steinen besteht, denn in dem letzteren Falle liegen die Steine viel dichter zusammen, und sind ausserdem durch Thonschlamm miteinander verklebt. Die durch einen Bergsturz entstandenen Schuttanhäufungen aber liegen, wie man sich im Hochgebirge leicht überzeugen kann, locker aufeinander und kein vertrockneter Schlamm verklebt die einzelnen Stücke. Genau so sind die meisten Schutthalden in der Wüste beschaffen, welche ohne Mithülfe von Wasser aufgehäuft, so locker übereinander liegen, dass es überaus schwierig ist, über eine solche Halde in der Wüste hinweg zu klettern. Alles kommt sofort in Bewegung und kollert thalabwärts. Das erschwert das Bergklettern in der Wüste sehr, und macht es oft unmöglich eine Felswand zu ersteigen.

Trifft nun einer jener seltenen Wüstenregen mit gewaltigem Sturz auf eine solche Halde locker übereinander liegender Steine, dann reisst das Wasser viel mehr Schutt mit in die Tiefe, als bei uns unter veränderten Bedingungen geschieht. Der häufig fallende Regen verkeilt bei uns einen Stein in den anderen, und eine Schutthalde ist oft ebenso widerstandsfähig wie eine Bergwand, die aus Mergelkalk besteht; in der Wüste liegen die Steine des Schuttes gelockert nebeneinander und allen verkittenden Schlammcäment hat die Sonne gelockert und der Wind entführt. Jetzt trifft der Sturzbach auf einen Haufen labiler Fragmente und übt eine transportierende Kraft aus,

die ihm in Europa nicht möglich wäre. Deshalb scheint mir Schweinfurth's Wort so treffend: in der Wüste warten die Gerölle des Gehängeschuttes auf den ersten Regen, und sind vorbereitet, um sofort mit in die Tiefe gerissen zu werden.

Ähnlich, wenn auch in geringerem Maasse, wird der Schutt in der Sohle eines Uâdi durch die Wüstenluft gelockert, und wenn die Wasser daherbrausen, dann transportieren sie viel mehr Geröll in kurzer Zeit, als wenn ein kleines Bächlein das ganze Jahr sich mühte, grosse Felsblöcke vorwärts zu schieben.

Absolut regenlos ist also sicherlich kein Theil der afrikanischen Wüsten, es fehlen regelmässige Regenniederschläge, allein die seltenen Strichregen stürzen mit grosser Gewalt hernieder und sind imstande, eine grössere mechanische Wirkung in kurzer Zeit auszuüben, als wenn dieselbe Regenmenge sich auf eine Reihe von Regentagen vertheilte.

Da Schnee nnd Eis zwar in manchen Theilen der Wüste, aber immer als seltene Ausnahme vorkommen, so darf ihre geologische Thätigkeit in der Gegenwart als unwichtig betrachtet und hier übergangen werden. Die Thätigkeit der Luftfeuchtigkeit und des Thaues wird unter »Verwitterung« besprochen werden. Aber ich muss darauf hinweisen, dass der Thau in der Wüste eine relativ seltene Erscheinung ist. Ich habe unter 80 Morgen, die ich, zum Theil ohne Zelt campierend, in der Wüste verlebt habe, etwa 6 Thautage beobachtet. Das Nilthal unterscheidet sich hierin sehr wesentlich von der Wüste und das Urtheil von Volkens über den vermeintlichen Thaureichthum der Wüste findet darin seine Erklärung. Volkens schreibt:[1]) »Im innigen Zusammenhang mit der Luftfeuchtigkeit steht die Bildung von Nebel und Thau. Erstere kommen Morgens in der Wüste nur während der Winter- und Frühjahrsmonate vor, sind aber in dieser Zeit eine sehr gewöhnliche Erscheinung und oft von einer Dichtigkeit, dass man kaum zehn Schritte weit sehen kann. In den meisten Fällen entstehen und verschwinden sie sehr schnell, senken sich wie eine Wolke herab und zerfliessen wieder; seltener dauern sie bis zum Mittag an. Selbstverständlich ist an solchen nebeligen

1) Volkens, Die Flora der ägyptisch-arabischen Wüste, Berlin 1887, S. 12.

Tagen auch Thaufall vorhanden, indessen beschränkt er sich nicht blos auf diese, ist vielmehr von November bis zum April fast ausnahmslos jeden Morgen zu beobachten.«

Diese Beobachtungen sind für die Beobachtungsorte Cairo und Heluan, beide auf der Grenze von Nilthal und Wüste gelegen, gewiss sehr zutreffend, wenn aber Volkens weiter schreibt: »Mir ist es unverständlich geblieben, wie viele Reisende von dem Fehlen des Thau in der Wüste sprechen können«, so erklärt sich diese Erscheinung sehr einfach dadurch, dass Volkens nicht in der Wüste selbst, fern vom Nilthal, beobachtet hat, und sich deshalb kein zutreffendes Urtheil über die Luftfeuchtigkeit der eigentlichen Wüste bilden konnte.

2. Temperatur.

Während im Gebiete des Tropengürtels und des Äquators ebenso wie in der Polarregion die Temperatur geringen täglichen Schwankungen unterworfen ist, zeichnen sich die dazwischen liegenden Klimazonen durch starke Wärmeunterschiede innerhalb kurzer Frist aus. In unserer gemässigten Zone gehören Schwankungen von 25° nicht zu den Seltenheiten und bei Jakutsk wurden — 48° R. und + 27° R. beobachtet[1]). In der Wüste aber bilden derartige Differenzen die Regel. Die Trockenheit der Atmosphäre, der Mangel von Humus, die Abwesenheit einer geschlossenen Pflanzendecke bedingen, dass die Temperaturunterschiede nicht vermittelt werden und sich mit gesteigerter Kraft auch auf den entblösten Felsboden übertragen.

»C'est pendant l'hiver que du jour à la nuit ces variations atteignent leur maximum; il m'est arrivé plus d'une fois de voir, sous le 17 parallèl et au mois de janvier, le thermomètre ne marquer au lever du soleil que + 5° et s'élever à une heure de l'après-midi à + 35°, ayant ainsi varié de 30 degrés en 7 heures[2]).«

Nachtigal beobachtete[3]) in Murzug folgende höchste Temperaturdifferenzen der Luft:

---

1) Dove, Zeitschrift für allgem. Erdkunde. Berlin 1856, p. 568.

2) de Lauture, Le désert et le Soudan. Paris 1853. p. 20.

3) Sahara und Sudan. I, p. 136.



April 1869	18,1°	Januar 1870	20,2°
Mai	16,8°	Februar	20,4°
October	13,0°	März	21,2°
November	12,0°		
December	22,2°		

Trotz dieser starken Unterschiede fehlt dort der Thau fast ganz.

Lauture berichtet uns zugleich, dass im Sommer die Luft Nachts 35° und Tags 48° erreichte, also in wesentlich engeren Grenzen schwankte. Rohlfs schreibt im April 1874[1]: »Wir hatten im Februar fast täglich morgens vor Sonnenaufgang eine Temperatur unter 0°, ja am 16. Februar konnten wir die grösste Kälte beobachten, welche überhaupt je in der Sahara notiert worden ist; das Minimumthermometer zeigte — 5° C.«

Ich selbst habe im März, April und Mai folgende Temperaturen in Celsiusgraden (Schleuderthermometer) beobachtet:

		Morgens	Mittags	Abends
März	18.	—	28°	28°
	19.	15,5°	28,5°	—
	20.	15,5°	25°	—
	21.	13°	31°	—
	22.	17°	28,5°	—
	23.	—	24°	—
	24.	18°	25°	20°
	25.	12°	23°	30°
	26.	16°	30°	—
	—	—	—	—
	29.	21°	22°	—
April	1.	—	25°	—
	2.	—	36°	—
	3.	—	32°	—
	5.	26°	31°	26°
	6.	20°	—	23°
	7.	17°	25°	—
	—	—	—	—

1) Brief an Petermann in Besitz von Herrn Hofrath Perthes.

		Morgens	Mittags	Abends
April	16.	24°	35°	27°
	17.	—	30°	—
	18.	29°	35°	—
Mai	7.	16°	—	34°
	8.	—	42°	—

(Die Beobachtungszeiten entsprechen sich nicht genau, da ich die Temperaturen nur zum Behuf barometrischer Correcturen beobachtete.)

»Die Temperatur des Wüstensandes im Vergleich mit derjenigen der Luft giebt ein Bild von den Wärmeausstrahlungsverhältnissen. In Regenfeld beobachteten wir, dass Morgens bei Sonnenaufgang Luft und Sand nahezu 5° C. warm sind. Die Luft geht bis gegen Mittag dem Sande um 1—2° voran, dann steigt aber das Maximum der Sandwärme (26°) weit über das der Luftwärme (22°) etwa um 3 Uhr, der Sand bleibt wärmer als die Luft um Mitternacht noch gegen 1—2°, bis gegen Morgen beide gleich werden«[1]). Rohlfs[2]) beobachtete am 3. Mai 1865 in der Sonne 74° C., im Schatten 43° C., im Sand 63° C.; Duveyrier fand[3]) am 22. Januar 1860 den Sand — 4,75°, und am 20. Juli desselben Jahres + 66,4°, also eine Maximaldifferenz von 70° C.

Endlich möchte ich hier noch einer interessanten Beobachtung aus der südlichen californischen Wüste von Lt. Wheeler[4]) gedenken, welcher schreibt: »Die Temperatur des Wüstensandes steigt meist beträchtlich über die der Luft, wobei natürlich die Farbe desselben von Einfluss ist. Bei Nacht nimmt die Oberfläche die Temperatur der Luft an, während in der Tiefe die Wärme blos sehr allmählich abnimmt. Ich fand eines Morgens bei einer Lufttemperatur von 22° C. den sandigen Boden in 1 Fuss Tiefe noch 35° C. heiss.«

Die eben erwähnte Farbe des Gesteines spielt für die Erwärmung desselben natürlich eine ganz hervorragende Rolle, die im Abschnitt »Die Bildung des Wüstensandes« noch eingehend gewürdigt werden soll. Hier mag aber noch erwähnt werden, dass selbst weisse Ge-

1) Jordan, Zeitschrift f. Vermessungskunde. Karlsruhe 1874, p. 384.
2) Petermann's Ergänzungshefte Bd. 25, p. 25.
3) Duveyrier, Die nördliche centrale Sahara. Petermann's Mitth. Bd. 9, p. 379.
4) Wheeler. Petermann's Mitth. Bd. 22. p. 413.

steine durch die Wüstensonne stark erwärmt werden. Ich habe im Uâdi Ssannûr eine weisse Auster nicht in der Hand zu halten vermocht, um sie mit dem Hammer aus dem Gestein zu isolieren, und die armen Beduinen, welche ihre Halicore-Sandalen wie einen Schatz hüten, den sie nur auf felsigem Boden zum Schutz der Füsse tragen, ziehen während der Mittagshitze ihre Sandalen an, da selbst weisser Sand so erwärmt wird, dass sie darunter leiden. Dunkle Gesteine kann man während der Mittagszeit unmöglich in die Hand nehmen. Diese starke Erhitzung der Gesteine wird bei Behandlung der »schwarzen Schutzrinde« in Rücksicht gezogen werden.

Eine directe Folge der Insolation ist das schalige Abblättern der Gesteine. Bei gewissen homogenen Kalken von muscheligem Bruch (s. Fig. 1), dann aber auch bei Granit beobachtete ich häufig, dass die Blöcke von concentrisch blätterigen Schalen umgeben sind, welche beim leichtesten Hammerschlag abfallen. Bei Granit sind solche Schalen 5—15 mm dick, bei dichten Kalken dagegen sind die einzelnen Schalenblätter kaum einen Millimeter dick, und 15—20 solcher dünner Blätter übereinander gelegt bilden die leicht abblätternde Aussenseite des Blockes. Taf. III Fig. 4 bringt ein Stück festen Kalkes zur Darstellung, dessen Aussenseite durch parallele Sprünge in einzelne dünne Schalenblätter zerlegt wird (Unterseite der Figur), eine Desquamationserscheinung, welche sehr häufig ist, aber nur selten in einem Handstück zur Darstellung gelangt, weil die Schalen überaus leicht abfallen. Das Stück stammt vom Uâdi Omm Ruthi auf der südlichen Galâla. Gewöhnlich fallen beim ersten Hammerschlag die lockeren Blätter klirrend zu Boden, und selbst wenn man sie mit dem Messer vorsichtig abzulösen versucht, bleiben sie nicht in Zusammenhang. Diese Schalen



Fig. 1. Desquamation eines Kalkfelsens im Uâdi Dugla (s. Anmerkung [1])).

1) Die Zinkographien im Text sind vom Autor selbst gezeichnet und zwar, mit Ausnahme weniger, näher bezeichneter, Copien, nach der Natur. Die Reproduction derselben führte E. A. Funke, die der Vollbilder und Lichtdrucktafeln J. Klinkhardt in Leipzig aus.

sind zwar auf ihren Spalten mit zersetztem Verwitterungspulver bedeckt, allein jedes einzelne Blatt ist auf dem Querbruch frisch, so dass es nicht möglich ist, der chemischen Verwitterung diese Wirkung zuzuschreiben. Da vielmehr gerade die der Sonne ausgesetzten Flächen solche Desquamation[1]) zeigen, so müssen wir annehmen, dass die Insolation von wesentlichem Einfluss ist, und es scheint mir folgende Erklärung der Wahrheit nahe zu kommen. Die Erfahrungen, die man bei dem Messen der Sandtemperatur gemacht hat, scheinen mir auch auf die Temperaturveränderungen der Gesteine ihre Anwendung finden zu dürfen. Wir sahen oben, dass der Sand am Tag auf grosse Tiefe erwärmt, Nachts aber nur in geringer Schicht wieder abgekühlt wird. Mögen die Buchstaben *A* bis *D* je einigen Millimetern Gesteinsdicke von aussen nach innen entsprechen, so werden nach Analogie der Sanderwärmung die Schichten *A. B. C. D* während des Tages auf 30° C. erwärmt, und während *A* und *B* in der Nacht bis zum Morgen ihre Wärme durch Ausstrahlung verlieren, behalten die Schichten *C* und *D* ihre Wärme bei. Inzwischen beginnt wiederum die Sonnenwärme auf den Felsblock einzuwirken, und erhöht die Temperatur der beiden äussersten Schichten *A. B.* Die Schichten *C* und *D* sind noch vom vorhergehenden Tag erwärmt, es wird also der Temperaturwechsel, und in Folge dessen die physikalische Ausdehnung und Zusammenziehung nur in einer bestimmten, oberflächlichen Schicht wirksam sein. Die Folge davon ist, dass durch die häufig wiederholte Ausdehnung und Zusammenziehung der Schichten *A* und *B*, gegenüber den gleichmässig warm bleibenden Schichten *C. D*, zwischen *B* und *C* allmählich eine Lockerung des Gesteins eintritt, die sich endlich in einer wirklichen Zerreissung äussert. Das Wärmeleitungsvermögen des Gesteins würde die verschiedene Dicke der abspringenden Schalen bedingen. Dass die abschuppenden Blätter der Oberflächengestalt des Felsblockes immer annähernd parallel abgesprungen sind, scheint mir auch ein Beweis für vorstehende Erklärung.

In unseren Breiten werden die Granitfelsen nur durch jene grossen polygonalen Sprünge in einzelne Blöcke zerlegt, die dann

1) F. von Richthofen, Führer für Forschungsreisende p. 94, fasst diesen Begriff weiter, als es hier geschehen ist.



später durch Verwitterung abgerundet werden. Auch der Sinaigranit zeigt häufig jene groben Spalten, welche den Felsen in einen Haufen Blöcke zerlegen. Die einzelnen Blöcke werden dann bisweilen nach dem eben geschilderten Typus durch Desquamation in concentrische Rindenstücke zerlegt, und solche Felsen sehen dann aus wie ein Haufen Kohlköpfe; ein ganz ausgezeichnetes Beispiel dieses Vorkommens bietet die isolierte Granithügelgruppe el Masrafje in der südlichen Sinaiküstenebene. Aus dem Sand und Kies der vom Meer langsam



Fig. 2. Granithügel el Masraije in der südlichen Sinaiwüste.

ansteigenden Ebene ragt s. Fig. 2 eine phantastisch gestaltete dunkelrothe Granithügelkuppe hervor und besteht zum grösseren Theil aus solchen schalig zersprungenen, kohlkopfähnlichen Granitblöcken, wie beifolgende Zeichnung s. Fig. 3 darstellt. Ich werde auf die Zersetzung



Fig. 3. Zerbröckelnde Granitblöcke am el Masraije.

dieses Granites bei Besprechung des Wüstensandes noch zurückkommen. Die Feldspäthe waren roth und unzersetzt und zeigten an, dass die chemische Verwitterung an dieser Bildung keinen Antheil hat, nur in den concentrischen Spalten befand sich eine dünne Schicht feuchten Thonstaubes und lehrte, dass hier im Schatten auch chemische Verwitterung vor sich gehe.

Haben sich die concentrischen Schalensprünge zu bilden

begonnen, dann werden sie durch chemische Verwitterung erweitert und vergrössert, wie solches im folgenden Abschnitt ausgeführt werden soll. Hat sich auf einem Gestein die schwarze Schutzrinde (s. u.) gebildet, dann scheint dasselbe gegen Desquamation gesichert zu sein.

Von dem soeben geschilderten Vorgang der peripherisch concentrischen Abschuppung möchte ich die Bildung radial ins Innere eines Gesteines eindringender Spalten unterscheiden. Während die erstere Erscheinung bei gewissen Gesteinen nur sofern sie in grossen Blöcken auftreten ziemlich häufig ist, bilden sich bei kleineren Steinen radiale Sprünge, welche mehr oder minder tief in die Felsmasse eindringen und dadurch eine Zerkleinerung derselben herbeiführen. Bei Besprechung der »Kieswüste« werden wir diesen Vorgang eingehend berücksichtigen. Hier können wir nur feststellen, dass die Wirkung der Temperaturunterschiede als Denudationsprocess in der Wüste sehr bedeutsam ist und die Vorgänge der chemischen Verwitterung an Intensität wesentlich übertrifft.

Eine sehr eigenthümliche und in ihren Folgen sehr wichtige Wirkungsart der Insolation findet dann statt, wenn der Sonne nicht einfarbige sondern polychrome Gesteine unterworfen sind, Gesteine, die aus verschieden gefärbten Gemengtheilen zusammengesetzt sind. Hierher rechne ich die grosse Reihe der grob-krystallinischen Gesteine: Granit, Gneiss, Glimmerschiefer und ähnliche. Die ohne glasiges Bindemittel diese Gesteine zusammensetzenden verschiedenen Mineralien sind von verschiedener Dichte, verschiedener Farbe und verschiedener specifischer Wärme. Infolge dessen werden bei Erwärmung die einzelnen Mineralien verschieden stark erhitzt und verschieden stark ausgedehnt, bei Abkühlung strahlen sie ihre Wärme verschieden rasch ab und ziehen sich mit verschiedener Intensität wieder zusammen. Indem sich dieser Vorgang täglich aufs Neue vollzieht, werden die einzelnen Mineralien des krystallinischen Gesteins gegeneinander gelockert und fallen schliesslich vollkommen auseinander.

Dieser Vorgang, der in dem Abschnitt über Bildung des Wüstensandes noch eingehend behandelt werden soll, gehört zu den wichtigsten und typischsten Vorgängen, die man in der Wüste beobachten kann.

3. Verwitterung.

Wenn wir unter Verwitterung nicht jeden beliebigen Zerstörungsprocess eines Gesteines, sondern nur einen solchen Zersetzungsvorgang verstehen, der unter dem Einfluss und der Mitwirkung chemisch thätigen Wassers sich vollzieht, so ist es begreiflich, dass diese eigentliche Verwitterung in der Wüste nur eine geringe Rolle spielen kann. Da chemische Verwitterung von der Anwesenheit des Wassers abhängig ist, so kann sie natürlich nur da stattfinden, wo Wasser hingelangt. Aber in der Wüste wird durch die warme trockene Luft und die Wärme der Sonne rasch der gefallene Thau oder Regen wieder abgetrocknet; die Stellen nun, welche am schwersten abgetrocknet werden, haben begreiflicherweise am meisten von der Verwitterung zu leiden. Schattige Wände, die Unterseite von Felsblöcken, vorhandene Hohlräume, Spalten im Gestein, das sind die Stellen, an welchen in der Wüste Verwitterung stattfindet und wo man ihre Spuren leicht entdecken kann. Die Oberflächenformen, welche durch Verwitterung in der Wüste erzeugt werden, sind oft sehr sonderbarer Art.

Zum Studium der Verwitterung an beschatteten Wandflächen eignen sich besonders die Inschriften, welche seit Jahrhunderten von Reisenden an den Felswänden der Sinaigebirge eingeritzt worden sind. Wenn wir absehen von den hieroglyphischen Inschriften, welche gelegentlich vorkommen und meist sorgfältig und tief in frisch geglättete Granitwände eingegraben worden sind, so treten uns als älteste Urkunden die sogenannten Nabatäischen Inschriften s. Fig. 4 entgegen, welche in den ersten Jahrhunderten unserer Zeitrechnung von wandernden Kaufleuten und Pilgern eingeritzt worden sind. Die Wände des Nubischen Sandsteines im Uâdi Mokátteb sind vollkommen bedeckt mit jenen sonderbaren Schriftzeichen; sie finden sich wieder am Djebel Nakûs nördlich von Tôr und an verschiedenen anderen Orten. Alle diese nabatäischen Inschriften sind in Sandsteinfelsen eingekratzt, welche der Sonne ausgesetzt und demzufolge (s. u.) mit einer schwarzen

Fig. 4. Nabatäische Inschrift am Dj. Nakûs.

Schutzrinde bedeckt sind. Ich werde noch zu zeigen haben, wie die Gesteine durch diese schwarze Schutzrinde resistent und widerstandsfähig gegen die Wüstenkräfte werden; so erklärt es sich, dass diese 1500 Jahre alten Inschriften ausgezeichnet erhalten und meist vollkommen unverwittert geblieben sind.

Neuere Reisende haben ihre Namen, besonders am Dj. Nakûs vielfach auch eingegraben, theilweise gleich den Nabatäern auf exponierte Felswände, theilweise an den schattigen Stellen, wo sie lagerten. So ist besonders eine enge Schlucht am Dj. Nakûs mit Inschriften aus allen Jahrhunderten versehen. Araber, Griechen, Lateiner, Engländer, Franzosen, Deutsche haben sich hier verewigt und ihre Inschriften mit der Jahreszahl datiert. Hier aber lässt sich beobachten, dass die Inschriften an den schattigsten Stellen der Schlucht viel stärker, häufig bis zur Unleserlichkeit verwittert sind, während ältere Inschriften auf sonnigeren Wänden noch wohl erhalten sind. Eine Inschrift vom Jahre 1764 ist sehr verwittert, eine andere »Kosath 1779« wohl erhalten. H. G. KNIGHT 1811 und J. A. F. Azakerley 1811 sind deutlich lesbar, J. S. Grive und J. Smith 1832 stark abgewittert. Wenn es auch in einzelnen Fällen zugegeben werden kann, dass die Schriftzeichen verschieden tief in den Felsen eingegraben waren, so ist doch überaus auffallend, dass im Durchschnitt die 1500 Jahre alten Inschriften der besonnten Wände viel besser erhalten sind, als die viel tiefer eingegrabenen dieses Jahrhunderts, welche auf schattigen Felswänden stehen. Diese Erscheinung aber erklärt sich ungezwungen, wenn wir berücksichtigen, dass in der Wüste an schattigen Stellen Verwitterung stattfindet, welche an besonnten Flächen fehlt.

In der südlichen Sinaihalbinsel finden sich als liegende Gesteine hauptsächlich ein rother Stockgranit, und darüber ein grauer Lagergranit. Während der erstere der Verwitterung ziemlich grossen Widerstand zu leisten scheint, zeigt der graue Lagergranit die deutlichsten Spuren chemischer Verwitterung s. Fig. 6. Diese Verwitterung zeigt sich in Gestalt vieler rundlicher Löcher von Nuss- bis Kopfgrösse und darüber, welche 10—50 cm tief in das Gestein hineindringen und sich nach innen häufig sogar erweitern, s. Fig. 5. Wenn man auch an geeigneten Stellen beobachten kann, dass diese Löcher der Bankung des Granites parallel laufen s. Fig. 6, dass sie also theilweise durch

die Structur des Gesteins veranlasst sind, so ist ihre eigentliche Bildung doch eine Wirkung der Verwitterung. Wo irgend eine schattige Vertiefung am Felsen war, da wurde der Regen, der Thau, die Bergfeuchtigkeit weniger rasch abgetrocknet, und es begann eine chemische Zersetzung des Feldspathes. Der Wüstenwind blies die verwitterten Krusten leicht ab und half mit seinem Sandgebläse die Vertiefung zu einem Loche umzugestalten. Je tiefer das Loch hineingewittert wurde, desto schattiger wurde die Stelle, desto länger hielt sich das Wasser unverdunstet, desto stärker und intensiver

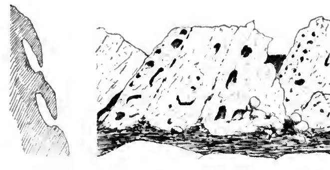


Fig. 5. Durchschnitt durch eine verwitternde Granitwand.

Fig. 6. Granitwand im Uâdi Sleil mit Verwitterunglöchern.

verwitterte der Felsen. Daher findet man solche Löcher häufig mit engem Eingang und erweiterter Höhle — eine Folge der Verwitterung im Schatten. Und wenn dieser Vorgang sich auch an besonnten Felsflächen findet, so beobachtet man ihn doch auf der W.- und N.-Seite der Felsen am häufigsten. Obenstehende Zeichnung (Fig. 6) giebt eine Westwand des Granites am Uâdi Sleil wieder, in der Nähe des dort befindlichen Wasserloches, das an einem Porphyrgang zu Tage tritt.

Eine hierher gehörige Erscheinung beobachtete ich in Nordindien. Auf der Fahrt von Aijmir nach Agra durchschneidet die Bahnlinie eine mit Euphorbien bestandene Granitlandschaft, bestehend aus domförmig gewölbten niedrigen Felskuppen, welche ganz wie Rundhöcker abgeschliffen, auf der Nordseite eine eigenthümliche Aushöhlung erkennen liessen. Die Orientierung dieser Hohlkehlen

nach Norden und die Nähe der grossen indischen Wüste liessen mich vermuthen, dass diese ausgewitterten Kehlen eine Wüstenerscheinung seien, wie ich sie in den ägyptischen Wüsten öfters beobachtet hatte. Mein Reisegefährte, Prof. F. EXNER aus Wien, hatte kurze Zeit vorher hygrometrische Beobachtungen in den Wüstengebieten bei Cairo angestellt und untersuchte auf meine Bitte mit seinem Hygrometer die Feuchtigkeit der Luft, durch die wir fuhren. Es ergab sich, dass die Luft hier die gleich geringe Menge Feuchtigkeit enthielt, wie die Wüstenluft auf dem Mokkatam bei Cairo.



Fig. 7. Einseitig verwitterter Granithügel bei Nana (Nordindien).

Eine ähnliche Erscheinung ist es, wenn der Fuss eines Felsblockes stärker verwittert als die Oberseite und diese daher wie eine Tischplatte über den Fuss herausragt. An der oben genannten Hügelgruppe el Masraîje ebenso wie an dem Granitberg Krên Utûd beobachtete ich solches in schönen Paradigmen. Auch am Schêch Reijah waren Granit-, Kalk- und Sandsteinblöcke in solchen Pilz-Formen ausgewittert. Wie grosse Hutpilze (s. Fig. 8) schauen solche Felsen aus der Wüste heraus und geben derselben ein ungemein originelles Aussehen. Da aber die Bildung der grösseren derartigen Pilzfelsen nur im Zusammenhang mit der Bildung der »schwarzen Schutzrinde« verständlich ist, so werde ich Näheres dort mittheilen, ebenso wie ich die sonderbaren »Säulengallerien« erst dort behandeln kann.



Fig. 8. Kalkfelsen im Uâdi Ashar der südlichen Galâla.

Ragt eine Felsbank mit ihrer unteren Kante, wenn auch nur wenig, über die unter ihr liegende Gesteinsbank, dann findet auch im Gebiet dieses Schattenstreifens chemische Verwitterung statt. Die Felsbank bekommt eine Hohlkehle und ragt mehr und mehr über ihre Unterlage hervor, s. Fig. 9. Hier wie in allen ähnlichen Fällen wird

dieser Verwitterungsprocess kräftig unterstützt durch den heftigen Wüstenwind, der jedes abgewitterte Gesteinsstückchen herausbläst und entführt. Aber selbst das Sandgebläse des Wüstenwindes unterstützt und steigert hierbei nur die stille, geheimnissvolle Thätigkeit der Verwitterung im Schatten. Näheres hierüber findet man in dem Kapitel über »Die Formen der Felswüste«.



Fig. 9. Überhängende Kalkbänke am Fusse des Dj. Burbäh (Sinai).

Mitten in der Wüste findet man häufig kleine und grössere Felsblöcke, welche vollkommen hohl sind und nur aus einer mehrfach durchbrochenen Rinde bestehen. So oft man auch derartig innen hohle Blöcke von grösseren Dimensionen trifft, so selten sind kleinere Stücke dieser Art, wie sie auf Taf. III in Fig. 5. 6. 7 dargestellt werden. Fig. 7 zeigt ein sehr weit vorgeschrittenes Stadium, da die Rinde oben ganz entfernt ist, und nur noch die Basis und die äussere Wand erhalten blieb. An dem Stück ist zugleich zu erkennen, dass die Aussenseite gebräunt und wenig zersetzt, die Innenseite aber stark angewittert ist. Derartige Stücke haben O. FRAAS veranlasst[1]), von einer »Verwitterung von innen heraus« zu sprechen. Dass dieser Begriff einen inneren Widerspruch enthält, lässt sich nicht verkennen, obwohl die Thatsache feststeht, dass in der Wüste häufig Felsblöcke aus einer harten Rinde und einem weichen, zerfallenden Kern bestehen. Der Unterschied einer harten Oberfläche und eines weicheren Kerns kann auf zweierlei Art entstehen. Entweder verhärtet die Oberfläche und das Innere behält seine ursprüngliche Consistenz — das ist der Fall bei der Bildung der schwarzen Schutzrinde und wird in dem betreffenden Abschnitt erläutert werden. Oder aber die Atmosphärilien suchen sich einen Weg ins Innere des Felsblockes und zerstören dasselbe, ohne die Oberflächenschicht anzugreifen — das ist der Fall bei der Verwitterung im Schatten. Wenn ein Stein, dessen Masse durch chemische Verwitterung angegriffen werden kann, in der Wüste so liegt, dass nur an einer Stelle chemische Verwitterung darauf einwirken kann, so wird nur diese Stelle zerstört und dann geht der

1) O. FRAAS, Aus dem Orient. Stuttgart 1867, p. 200.

Verwitterungsprocess im Innern weiter. So entstehen die hohlen Felsblöcke. Aber diese Erscheinung darf nicht zusammengeworfen werden mit der oben genannten, wo durch Bildung einer äusseren härteren Rinde eine Härtedifferenz zwischen Oberfläche und Kern

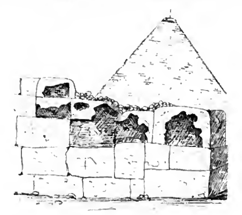


Fig. 10. Verwitterte Mauer an den Pyramiden von Giseh.

erzeugt wird. Beide Erscheinungen können auch an demselben Stück auftreten, allein der Begriff »Verwitterung von innen heraus« darf nicht zu wörtlich aufgefasst werden. Ich komme später auf diese Erscheinung noch zurück.

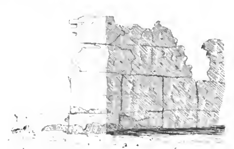
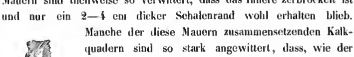


Fig. 11. Verwitterte Mauer an der Menkaura-Pyramide bei Giseh.

Die Bildung hohler Felsblöcke lässt sich sogar in einzelnen Fällen zeitlich bestimmen. Auf der Nordseite der Pyramide bei Giseh befinden sich Mauern s. Fig. 10. 11, deren Zugehörigkeit zum



Pyramidenbau aus ihrer Lage leicht ersichtlich ist. Die Quadern dieser Mauern sind theilweise so verwittert, dass das Innere zerbröckelt ist und nur ein 2—4 cm dicker Schalenrand wohl erhalten blieb. Manche der diese Mauern zusammensetzenden Kalkquadern sind so stark angewittert, dass, wie der Querschnitt auf Fig. 12 erkennen lässt, nur eine schmale Platte davon übrig blieb, von der man nicht vermuthen kann, dass sie in dieser Form in die Mauer eingefügt worden sei. Allein viel schöner und instructiver ist eine Mauer, welche im Uâdi Guerrâui durch SCHWEINFURTH entdeckt wurde. In dem genannten Thal, etwa 8 km östlich von dem Bad Heluân bei Cairo, sind Alabastergänge im Nummulitenkalk, welche, wie es scheint, beim Bau der Pyramiden ausgebeutet worden sind, denn ein erhabener Fahrdamm lässt sich noch heute vom Ausgang des Thales in directer Richtung auf Giseh zu verfolgen. Massen von Thonscherben liegen in der Nähe der Alabastergruben verstreut, Fundamente von Wohnhäusern lassen sich erkennen, und unterhalb der



Fig. 12. Durchschnitt einer Mauer an den Pyramiden von Giseh.

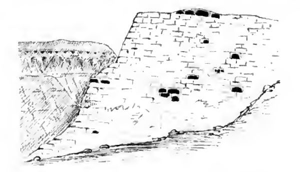


Fig. 13. Sperrmauer im Uâdi Guerrâui bei Heluân.

Gruben hat man das Thal durch eine 10 m hohe Mauer quer abgeschlossen s. Fig. 13. Die Vermuthung liegt nahe, dass diese Mauer den Zweck hatte, periodisch fallendes Regenwasser aufzustauen und zu sammeln, um auf diese Weise den kostspieligen Wassertransport vom Nil nach den Gruben zu ersparen — genau

wie man im Alterthum längs der Cyrenaika[1]) es sich angelegen sein liess, überall das selten fallende Regenwasser zu sammeln und in Teichen für die trockene Zeit aufzubewahren.

Der Fangdamm im Uâdi Guerrâui ist allerdings selbst später von den Wasserflutben zerstört worden, so dass nur auf beiden Thalhängen die Reste der Mauer zu sehen sind, aber diese Reste haben dadurch ein besonderes Interesse, dass die 2 Kubikfuss grossen Kalkquadern zum Theil (s. Fig. 13) vollkommen hohl sind; von dem Kalkblock ist nur eine 3 cm starke Rinde übrig, das Innere ist herausgewittert.

Da es völlig undenkbar ist, dass die Ägypter schadhafte Steinblöcke zu diesem Bau verwandt haben, da es ebenso unverständlich ist anzunehmen, dass sie einzelne Quadern bis auf eine 3 cm starke Rinde ausgehöhlt hätten, so haben wir hier den sprechenden Beweis dafür, dass diese Steine seit dem Pyramidenbau, also in ungefähr 5000 Jahren ausgewittert sind; und da nur ein Theil der Blöcke so ausgewittert ist, so erkennen wir, dass jener Zeitraum das Minimum von Zeit darstellt, in der sich eine solche Erscheinung vollziehen kann. Ich besitze ein solches Stück Rinde in meiner Sammlung, an dem deutlich zu erkennen ist, dass wesentlich die Innenseite der chemischen Verwitterung unterlegen ist, während die Aussenseite den Charakter der in der Wüste durch Sand zerstörten Kalke zeigt.

Blicken wir auf das zurück, was wir über die Thätigkeit der chemischen Verwitterung in der Wüste feststellen konnten, so finden wir: die chemische Verwitterung ist in der Wüste gering und wirkt nur im Laufe langer Jahrtausende. Sie findet überall da statt, wo Gesteinsflächen beschattet sind, und deshalb die Feuchtigkeit länger wirken kann als auf besonnten Flächen. Zu einer Verwitterung auf grösseren Flächen kommt es in der Wüste nicht, sie bildet immer eine locale Erscheinung.

---

1) G. Schweinfurth, Una Visita al Porto di Tobruc. L'Esploratore. Milano 1883, VII. Fasc. VI, p. 207.

4. Pflanzenwuchs.

In der gemässigten Zone und im Tropenlande gehört nackter Erdboden zu den seltensten Erscheinungen; Alles wird überzogen von einer geschlossenen Pflanzendecke, mag dieselbe als Wald, Dschungel, Rasen, Haide, Moosdecke, Steppengras oder Flechtenrinde erscheinen. Und die »cumulative« Verwitterung zu Lehm oder zu Laterit würde unmöglich jene Intensität errreichen und den Felsen bis zu 50 m Tiefe zersetzen können, wenn nicht eine geschlossene Pflanzendecke den Erdboden vor dem Austrocknen schützte. In der Wüste fehlt jene geschlossene Pflanzendecke, es fehlt mithin die regionale Verwitterung, es fehlt die Bildung von Humus. O. FRAAS hat zuerst auf dies letztere ungemein wichtige Factum hingewiesen[1]: »Ob es auch Jedem das eigene Nachdenken bald sagen wird, dass sich die Verwitterung der Gesteine unter einem fast regenlosen Himmel nothwendig anders gestalten muss, als in der gemässigten Zone, so wird man doch, weil an europäische Verwitterungsverhältnisse gewöhnt, über eine und andere Erscheinung betroffen, die uns Abendländern ganz fremd ist. Hierzu rechne ich vor allem den Mangel an Humus. Weder in den Gärten von Rhoda und Schubra, noch in den Palmenhainen des Feirâns, weder in der Ebene Saron noch auf den Bergen Juda's ist auch nur eine Spur jener schwarzen mulmigen Erde, die vorzugsweise aus den modernden Pflanzenresten, oder aus animalischen Aschen besteht und erst in Folge der Cultur sich mit den mineralischen Bestandtheilen des Bodens vermengt.« Und wichtig ist es darauf hinzuweisen, dass auch in keiner der jüngeren Ablagerungen fossiler Humus vorkommt. SCHWEINFURTH schrieb mir über diesen Gegenstand: »Es ist eine ungemein auffallende Erscheinung, dass sogar die Nilerde kaum Spuren von Humus enthält. Humus kann sich nur bilden unter Wasser oder unter Schnee bei verlangsamter Zersetzung. Die Abwesenheit von Humus kann also als einer der zahlreichen Beweise für die Beständigkeit des Wüstenklimas innerhalb der geschichtlichen Periode angeführt werden. In der That habe ich in den Wüsten Ägyptens nirgends alte Humus-Lager, Spuren oder Streifen zwischen den Thon-

1) O. FRAAS, Aus dem Orient. p. 196.

und Sandlagen gefunden, die als Zeugen ehemaliger Thalsohlen heute hoch an den Thalwänden kleben geblieben sind. Dagegen sieht man die eingelagerten Nilthonlagen am Rande des Nilthals sehr

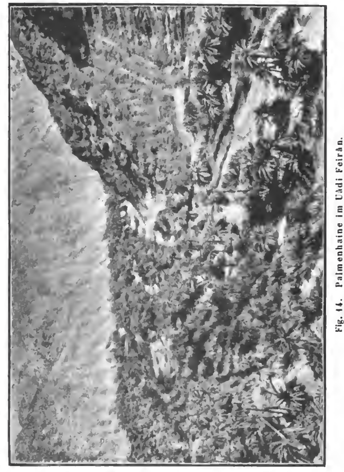


Fig. 14. Palmenhaine im Uâdi Feirân. Photographiert durch Dr. Sarasin (s. Anm. 1).

deutlich.« Mit dem Mangel einer geschlossenen Vegetationsdecke, mit der Abwesenheit einer Humusschicht fehlen auch der Wüste alle

1) Ich verdanke diese und einige weitere Vollbilder der Liebenswürdigkeit der Herren Dr. Dr. Sarasin zu Berlin.

die Erscheinungen, welche bei uns eine Folge jener sind, und in erster Linie die regionale und cumulative[1]) Verwitterung.

Die Pflanzen in der Wüste leben fast durchgängig auf Schuttland, sei es auf einem Schuttkegel am Fuss einer Felswand wo etwas Wasser hervorsickert, sei es im Schutt, der die Sohle der Thäler (Uâdi) erfüllt, und selbst in den Oasen ist das Pflanzenleben nur im Umkreis der Brunnen einigermassen dicht und zusammengedrängt. Wo in der Oase Feirân die Quelle entspringt, da beginnen die Palmenhaine s. Fig. 14, und wo das Bächlein nach einstündigem Lauf im Thalschotter versiegt, da enden auch die Pflanzen.

»Pflanzenwuchs[2]) findet sich in der Wüste während des grössten Theils des Jahres vorzüglich nur in den Thälern, den Wadi's. Schauen wir von einem höheren Kamme hinab in die umgebende Landschaft, so sehen wir, wie genau den in der Regenzeit gebildeten Wasserrinnen folgend sich von den Abhängen schmale grüne, oft kaum handbreite Linien hinunterziehen, überall weite, absolut nackte Flächen zwischen sich lassend, in breiteren und tieferen Furchen zusammenfliessen und schliesslich am Fusse in das Hauptthal ausmünden. Die Sohle dieses, die gewöhnlich streckenweise eben und breit wie eine Strasse, aber in Schlangenwindungen längs des Kammes weiterläuft, erscheint am Rande, da wo die fast senkrecht aufsteigenden Felswände Morgens und Abends einen flüchtigen Schattenstreifen werfen, von einer fortlaufenden Hecke gesäumt, in der ganzen Breite aber mit einem grünen Maschenwerk bedeckt. Der Anblick ist ähnlich dem, welchen das Staudenstück unserer botanischen Gärten gewährt. Wie dort die Hand des Gärtners die Pflanzen in isolierte Gruppen bringt, zwischen ihnen durch Ausjäten des Unkrautes kahle Stellen schafft, so steht hier Busch neben Busch, einer vom anderen, wenn auch in durchaus keiner Regelmässigkeit des Abstandes durch kantige Steinblöcke, durch nacktes, kiesiges Geröll getrennt.«

Allerdings kann es vorkommen, dass man im Frühjahr in ein Wüstenthal gelangt, in welchem alles blüht und duftet, in dem rothblühende Erodien das Auge entzücken oder wo die Artemisia judaica mit ihrem aromatischen Geruch die Luft so erfüllt, dass man das

1) RICHTHOFEN, Führer für Forschungsreisende, p. 112.

2) VOLKENS, Die Flora der ägyptisch-arab. Wüste. Berlin 1887, p. 17.

Uâdi schon einige Kilometer weit riecht, bevor man es betritt; allein auch hier findet man nur isolierte Büsche, nie eine geschlossene Decke von Pflanzen. An der südlichen Galâla beginnen die Pflanzen in 800 m Höhe zahlreicher zu werden, die Gehänge sind mit Gestrüpp bewachsen und auf der Höhe des meilenweiten Plateaus glaubt man sich der Wüste entrückt. Der eocäne Kalk, in mächtigen Platten abgesondert, erinnert an eine Dachsteinlandschaft, aber als wesentlicher Unterschied fällt sofort der Mangel von Rasendecken, von Flechtenrinden, von Karrenfeldern und anderen nordischen Erscheinungen auf. Ausgeblasene hohle Kalkblöcke, gebräunte Rinden auf den Felsen, lassen den Wüstencharakter sofort erkennen.

Es kann auch vorkommen, dass durch einen einzigen starken Regen eine vorher sterile Fläche in kürzester Frist sich mit Pflanzen bedeckt, dass Diplotaxis acris, Anastatica hierochondica oder (die echte Rose von Jericho) Asteriscus pygmaeus überall keimen und binnen kurzer Zeit zu blühen beginnen, allein auch hier sehen wir nie die Pflanzen einander so genähert, so gehäuft, wie in unserem Klima.

Local ist demzufolge auch der Einfluss der Pflanzen auf die Bodengestaltung in der Wüste[1]). Die auffallendste, durch Pflanzen bedingte Erscheinung ist die Bildung der Neulinge.

»Die Wüstenpflanzen wirken, wie jeder hervorragende Gegenstand, auch auf steinigem Boden, als Sandfänger und umgeben sich mit einem, in der Richtung des zuletzt herrschenden Windes verlängerten Sandhaufen, der sie allmählich verschütten würde, falls sie nicht die Fähigkeit besässen, sich aus dem Sand hervorzuarbeiten. Durch diesen Vorgang erhöhen sich diese Sandhügel immer mehr, am meisten bei der Tamariske, deren oft 3—5 m erreichenden Hügel als Neulinge der



Fig. 15. Neulinge in der südlichen Sinaihalbinsel.

1) Vgl. Klunzinger, Die Vegetation der egyptisch-arabischen Wüste bei Koseir. Berlin 1878.

Wüstengeographen, mit den Zeugen, denen sie von weitem oft gleichen, wetteifernd eine Rolle in der Physiognomie der Wüstenlandschaft spielen[1]).«

»Die ganze Gegend von Bir Beránin im südlichen Fesan zeichnet sich durch Neulinge, oder Hügel aus, die sich durch Anhäufung von Sand mit vegetabilischen Stoffen gebildet haben. Gewöhnlich giebt der Ethel oder die Tamariske die Veranlassung zu solchen vereinzelten, meist conischen Hügeln, die oft die Höhe von 20—30' erreichen, und auf den meisten sieht man auch noch einen Ethelbusch. Sie geben der Gegend ein höchst eigenthümliches Aussehen, und man findet sie in der ganzen Sahara. Man muss sie indessen wohl unterscheiden von den Zeugen (Témoins), die zwar dasselbe Aussehen haben, doch wesentlich anderer Entstehung sind[2]).«

»Im Uâdi-ben-Auëgir in Tripolis wachsen zahlreiche Sträucher von Calligonum comosum auf niedrigen Lehmhügeln und schützen durch ihre tief eindringenden Wurzeln das lose Erdreich gegen den Wind, der sonst den zerfallenden Lehm über die Dünen streuen würde; auch verleiht dieses Netz von Wurzeln dem Boden eine gewisse Festigkeit durch Conservierung des Wassers. Oft sieht man in der Wüste solche Hügel in Zerfall, wenn der schützende Strauch abgestorben ist, und nur mehr verdorrte Wurzeln das Erdreich durchziehen. Der Wind legt dann in kurzer Zeit die Basis des Hügels blos[3]).«

Diese Neulinge sind eine ungemein häufige Erscheinung in den Thälern der Sinaiwüste, wo man sie von allen Dimensionen beobachten kann, entstehende, fertige und absterbende nebeneinander, wie umstehende Fig. 15 aus der Gaâwüste nahe Schêch Reijah erkennen lässt.

Aber nicht nur Tamariskenbüsche, auch der ginsterähnliche Retam, Grasbüschel und ähnliche stockbildende Pflanzen geben Anlass zur Bildung von Neulingen. »Eine besondere Erscheinung bietet die Küstendüne bei Tôr. Ziemlich flach aus dem Meere tretend, bildet sie einen schmalen, bis zu der etwas erhöhter gelegenen Sandwüste kaum eine Viertelstunde breiten Saum, der mit

1) Ascherson, Verh. des Vereins für Erdkunde zu Berlin. 1875, p. 178.

2) Rohlfs, Petermanns Ergänzungshefte. Bd. 25, p. 12.

3) von Bary, Zeitschrift das Vereins für Erdkunde. Berlin 1876, p. 166.

den gewöhnlichen strauchigen Meeresstrandpflanzen besetzt ist, zwischen denen sich der Sand ablagert, so dass sie kleine, einzelne Hügel mehr oder weniger dicht stehend bilden, die bis zwei Klafter im Durchmesser und bis 9' hoch sind. Sie kehren die bebuschte Seite dem hier herrsehenden N.W.-Winde zu, so dass man, wenn man nach SO. schaut, vollkommen grüne Büsche und nichts vom Sande sieht, entgegengesetzt aber nur Haufen Sandes, über welche der grüne Saum des Gesträuches wenig hinausragt[1]).«

Ich bin mehrere Male durch diese Hügelregion gewandert und kann der treffenden Schilderung Frauenfeld's nichts hinzufügen, als dass ähnliche Lehm- und Sandhügel mit niederem Gestrüpp bewachsen auch fern vom Meere auftreten und die Mannigfaltigkeit der mit dem Namen Neulinge bezeichneten Bildungen vermehren. So sehen wir, dass der Pflanzenwuchs zwar local eine Rolle bei der Bildung der Oberflächenformen in der Wüste spielt, dass aber ausserdem die Thätigkeit der Pflanzen in der Wüste unmerkbar ist.

5. Wind.

»Stürme bilden die charakteristische Signatur des Klimas von Nordtibet und überhaupt aller Wüsteneien des centralen Hochasiens. Ihre Stärke ist eine ganz gewaltige, sie füllen die Luft mit Wolken von Staub und Sand, und fegen zuweilen sogar das kleine Steingerölle mit fort. Ihre zerstörende Wirkung ist im Verein mit den anderen atmosphärischen Einflüssen, den Frösten im Winter und den Regengüssen im Sommer, geeignet, die Configuration der Gelände zu verändern. Im Januar 1873 erlebten wir allein 18 Sturmtage[2]).« Diese Worte Przewalski's lassen sich mit geringen Änderungen auch auf die ägyptischen Wüsten anwenden, denn neben der Insolation und gelegentlichen Sturzregen, wirkt keine Kraft so intensiv und so nachhaltig auf die Wüstengebiete ein, als Wind und Sandgebläse. Ein Sturm, der über ein steiniges Gebiet dahinfegt, ist in zwei Hinsichten denudierend thätig. Erstens entfernt er und nimmt mit sich

1) Frauenfeld, Sitzungsber. d. Wiener Acad. d. Wissensch., math.-physik. Classe 1855 II, p. 71.

2) Przewalski, Petermanns Mittheilungen. Bd. 30, p. 18.

Alles das, was von Gesteinsmaterial sich gelockert hat. Jedes durch Insolation, durch Verwitterung, durch Wasser gelockerte Gesteinsfragment wird vom Winde entführt, der Wüstenboden wird immer aufs Neue reingefegt. In unserem Klima, wo eine dichte Pflanzendecke den Boden und seine Verwitterungsrinde bedeckt, hat der Wind nur wenig Gelegenheit die letztere zu bearbeiten; er fegt über den Rasen, biegt die Gipfel der Bäume, aber nur selten gelingt es ihm, den blosen Felsboden zu streifen und dort zu entführen, was sich gelockert hat. Das Transportmittel unseres Klimas ist fliessendes oder gefrorenes Wasser, denn nur dieses vermag die schützende Pflanzendecke abzureissen und auf den Boden zu wirken; und so sehen wir in Europa den Transport gelockerter Felsmassen an die Wasserläufe gebunden. Wo kein Wasser regelmässig fliessen kann, da ist die Wegführung des Gebirgsschuttes gering.

Ganz anders in der Wüste. Hier ist kein Winkel so versteckt, kein Plateau so eben, keine Bergspitze so isoliert, dass nicht der Wind seine denudierende Thätigkeit daran versuchen könnte. In die engsten Gesteinsspalten, die tiefsten Höhlungen dringt der Wüstenwind mit unwiderstehlicher Gewalt hinein, und Alles was gelockert ist wird entführt. Man kann sich in unserem Klima keine Vorstellung von der Wichtigkeit dieses Vorganges in der Wüste machen, er übertrifft meines Erachtens alle übrigen Denudationsprocesse bedeutend an Stärke. Man hat neuerdings das Wort »subaërische Denudation« für diesen Vorgang gebraucht, allein mit Unrecht, denn die englischen Geologen (z. B. WHITAKER, On subaërial denudation on cliffs and escarpements of the Chalk and the lower tertiary beds, Geol. Mag. 1867, Vol. IV, p. 447), welche diesen Begriff eingeführt haben, verstehen darunter: Erosion auf dem Festland durch Süsswasserströme, im Gegensatz zu marinen Brandungserscheinungen.

Östlich vom Bad Heluan erstreckt sich bis zum Fuss der Wüstengebirge eine weite, kiesbedeckte Ebene. Hier wurden künstlich zugehauene Feuersteine entdeckt und von Alterthumsforschern eifrig gesucht. Sie waren eingebettet in einen sandigen Lehm, und von diesem wurde bei jedem stärkeren Wind soviel abgetragen, dass jedesmal neue Artefacte an die Oberfläche gelangten und abgesucht werden konnten.

Ein vortreffliches Beispiel für die Intensität der »äolischen

Denudation bietet der arabische Friedhof bei Grûm am Sinai. Dort findet Quarantaine für die Mekkapilger statt, und die daselbst verstorbenen Kranken werden direct vor den Häusern des kleinen Dorfes beerdigt. Nun ist es zwar arabischer Brauch, die Leichen nicht allzutief zu begraben, aber die in weisse Lappen gehüllten, mumificierten Glieder, welche dort aus ihren Gräbern herausragen, zeigen, dass im Verlauf weniger Jahre eine merkliche Abtragung der Salzthonebene stattfindet.

Östlich von Feschen fand Schweinfurth auf einer weiten aus Kalkmergel gebildeten Fläche unzählige 5 cm hohe Echinolampas freiliegend, welche alle durch Wegblasen des umhüllenden Gesteins freigelegt worden waren, und bei Abu Roasch waren Flächen eines sehr festen Kalkes vollkommen bedeckt mit hunderten von Pseudodiadema, welche, etwas härter als das umgebende Gestein, der abtragenden Wirkung des Wüstenwindes Widerstand geleistet hatten (s. Taf. I, Fig. 9). Da sie mit allen ihren kleinen Stachelwarzen vollkommen tadellos erhalten waren, so kann der mit Sand beladene Wind diese Wirkung nicht gehabt haben, Wasser ist nirgends dort geflossen und so bleibt der Wind als abtragendes Medium allein übrig. Auch das auf Taf. V, Fig. 10 abgebildete Stück zeigt eine ähnliche Erscheinung, härtere Schichten ragen 1—2 mm aus dem Gestein heraus; aber ein Vergleich mit dem durch Sand abgeriebenen Stück Taf. IV, Fig. 1 lehrt, dass es nicht das Sandgebläse war, welches diese Modellierung erzeugte; auch von chemischer Verwitterung sind keine Spuren erkennbar, vielmehr ist die Erscheinung wesentlich bedingt durch den Wind, indem die durch tägliche Insolation, nächtliche Verwitterung etc., gelockerten weicheren Stellen vom Wind rasch entführt und dadurch immer neue Angriffspunkte für jene Kräfte geschaffen wurden.

Zwar sieht man überall in der Wüste Spuren des Sandschliffes und bei Besprechung der Kieswüste werden wir charakteristische Beispiele kennen lernen, allein diese Thätigkeit des sandbeladenen Windes, so häufig auch ihre Wirkung beobachtet werden kann, tritt vollkommen in den Hintergrund gegenüber der rein abtragenden Thätigkeit des Windes in der Wüste, ein Vorgang, der wahrscheinlich auch in unserem Klima für gewisse Erscheinungen formgebend sein dürfte. Bei seiner hohen Bedeutung glaube ich, dass es nützlich

ist, diesen Denudationsprocess mit einem besonderen Namen zu bezeichnen, und so schlage ich vor, das Wort »Deflation« für die denudierende Thätigkeit bewegter Luft zu gebrauchen[1]). Und zwar verstehe ich darunter nicht so sehr die Zerstörung der Felsoberfläche, als vielmehr die Abhebung und Fortführung der durch Verwitterung, Sandgebläse, Insolation etc. gelockerten Gesteinsfragmente.

Die denudierende Wirkungsweise des Windes ist nun grundverschieden von der des fliessenden Wassers. Das erodierende und transportierende Wasser ist in seiner Thätigkeit gebunden an Niveauunterschiede und wirkt ausschliesslich von Berg zu Thal. Ein abflussloses Gebiet, eine weite Ebene ist für die Erosion ein todter Punkt, ihre Wirksamkeit hört hier auf. Je stärker die Neigung des Gehänges, desto stärker die Erosion und der Transport der erodierten Massen. Ausserdem aber ist die Wirkung der Erosion an die lineare Vertheilung der Wasserläufe gebunden, so dass ein sich verästelndes Thalsystem mit einem gewissen Gefälle gegen das Meer hin, den Typus der Oberflächenformen in einer Erosionslandschaft bestimmt.

Die Deflation, die denudierende Wirkung des Windes ist an solch' ein Schema gar nicht gebunden, und wenn mitten in einer Hochebene ein Gebiet liegt, auf dem das Gestein sich leichter zersetzt als in der Umgebung, so wird in der Wüste an dieser Stelle eine grosse kesselförmige Vertiefung entstehen — das ist eine Erscheinung, die in einer Erosionslandschaft als Denudationsresultat vollkommen undenkbar ist. Nun ist es leicht nachzuweisen und wird im folgenden Abschnitt ausführlich behandelt werden, dass ein grosser Theil der Uâdis ihre Form dem gelegentlich rinnenden Wasser verdanken, allein sie haben doch noch gewisse Eigenthümlichkeiten, die specifische Deflationserscheinungen sind und die man als solche nicht übersehen darf, obwohl sie mit Erosionserscheinungen verknüpft auftreten. Halten wir daran fest, dass die deflatierende Thätigkeit des Wüstenwindes nicht an die durch die Schwerkraft vorgezeichneten Bahnen, noch an die topographische Configuration gebunden ist, dass der Wüstenwind Alles heraushebt und davon trägt, was nicht fest ist. Das Wasser gleicht einem Menschen, der nur

1) Ich verdanke die Mittheilung dieses Wortes Herrn Prof. Ascherson.

auf Treppen und durch Thüren ein Haus verlassen kann; der Wind ist ein Gespenst, das hereintritt, wo es ihm beliebt, und auf ungewöhnlichen Wegen das Haus auch wieder verlässt.

Ausser dieser deflatierenden Thätigkeit des Windes übt derselbe, wenn er mit Sand beladen ist, noch eine zweite denudierende Thätigkeit aus, eine Thätigkeit, deren Spuren man zwar in der Wüste überall bemerkt, die man aber doch nicht überschätzen darf, und die ich gering anschlage gegenüber dem eben geschilderten Vorgang. In dem Capitel »Kieswüste« werde ich die Wirkungen des Sandes noch eingehender zu behandeln haben, hier sei nur gesagt, dass der Wüstensand ein feines Reagens auf Festigkeitsunterschiede der Gesteine ist und dass er demzufolge sehr mannigfaltige Oberflächenformen anschleift und erzeugt.

Leider liegen mir keine genauen Messungen der Windintensität in der Wüste vor; doch zeugen die Schilderungen aller Reisenden von der Stärke der Wüstenstürme. ROHLF's schreibt[1]: »Bei Staubwind werden handgrosse Steine über den Sand gerollt. Meist sind es Wirbelwinde; kleinere Windhosen kann man täglich beobachten, sie sehen aus wie eine umgestürzte Rheinweinflasche und zeigen die um sich selbst drehende Bewegung. Grössere Windhosen erreichen eine Höhe von mehreren hundert Fussen und jagen oft mit rasender Geschwindigkeit vorüber. Den stärksten und längsten Orkan erlebte ich östlich von Audjilah im April 1869, er dauerte 4 Tage und Nächte.«

Die Thatsache, dass die Wüstenwinde häufig Wirbelwinde sind, ist für das richtige Verständniss der Deflationswirkung in der Wüste von grosser Bedeutung. Als ich Anfang Mai 1887 durch den Theil des Uâdi Arabah zog, den die Beduinen mit dem bezeichnenden Wort »Gärten des Durstes« benennen, sah ich vier Sandhosen hinter einander über die Ebene ziehen, deren jede wohl 50 m hoch war. Gleich gewundenen Sandsäulen bewegten sie sich langsam über die weite Fläche und trugen sicherlich bedeutende Mengen von Sand davon. Auch in Uâdischluchten kann man nicht selten beobachten, mit welcher Stärke vertical aufsteigende Windströmungen Staub und Sand aus der Thalsohle emportragen.

---

1) Die Sahara oder die Grosse Wüste. Ausland 1872, p. 1112.

Diese verticalen Bewegungen von gelockertem Gesteinsmaterial sind ein bedeutsamer Factor bei der Entstehung der Thalkessel und Uâdis in der Wüste und werden bei Besprechung derselben (Abschnitt III) eingehend berücksichtigt werden.

Am 29. Januar 1874 erlebte Jordan[1]) einen 30 Stunden anhaltenden Samum. »Der Sand prasselte in Stössen, die sich ungefähr alle 10 Secunden wiederholten, wie ein Platzregen gegen die Leinwand, welche wie ein feines Sieb wirkte und einen ganz feinen Staub in Menge durchliess. Soweit sich der Himmel ausserhalb der schützenden Decke beobachten liess, zeigte der Himmel eine schwere, graugelbe Färbung, hauptsächlich am Horizont und gegen oben sich abschwächend.«

Über die Wirkung des Windes verdanken wir Czerny[2]) umfassende Zusammenstellungen, auf die ich hier verweise, indem ich noch einige eigene Beobachtungen hinzufüge. Am 4. April 1887 befand ich mich an der Südspitze der Sinaihalbinsel, dem Râs Muhámmed und zwar an einer etwa 2 km breiten Meeresbucht, jenseits deren eine Düne 10 m hoch emporragte. Von dort wurde der Sand mir ins Gesicht geschleudert, er wurde also 2 km weit direct herübergetragen. Auf dem Kamelrücken kann man sich, wenn der Sturm von der Seite kommt, nur dadurch halten, dass man sich nach der Windseite zu setzt. Am 27. April wurde durch einen plötzlichen Sandsturm ein mit eisernen Pflöcken im Boden befestigtes und mit grossen Steinen beschwertes Zelt frei in die Luft gehoben und das andere nur dadurch vor dem gleichen Schicksal bewahrt, dass sich etwa 12 Beduinen eine halbe Stunde lang an die Zeltstricke hielten.

Welche Veränderungen Dünen und Sandflächen durch solche Stürme erleiden, wird in einem späteren Abschnitt mit Beispielen belegt werden.

Fassen wir unsere Betrachtungen jetzt zusammen: Die Wirkung des Windes äussert sich in der Wüste in doppelter Weise. Erstens entführt der Wind überall Alles, was durch Verwitterung, Insolation etc. gelockert ist, und verhindert dadurch, dass sich die Denudationsproducte

1) Jordan, Kölnische Zeitung vom 15. April 1874.

2) F. Czerny, Die Wirkung der Winde auf die Gestaltung der Erde. Petermanns Ergänzungshefte, Bd. 48.

cumulativ anhäufen. Zweitens scheuert der mit Sand beladene Wind die Felsen und denudiert dadurch deren Oberfläche. Die erstere dieser beiden Wirkungen, die Deflation, ist der wichtigste Denudationsprocess in der Wüste.

6. Electricität und Ozon.

»L'électricité, assez abondante souvent pour que le moindre frottement dégage des étincelles des vêtements, a bien aussi sa petite action perturbatrice, action inconnue, inappréciable mais qu'on n'oserait nier[1].« Mit diesen Worten weist Duveyrier auf eine noch wenig gewürdigte, aber gewiss nicht unwichtige Kraft in der Wüste hin. Die trockene Luft, wohl auch die innere Reibung der Sandkörner in einem Sandsturm, erzeugen solche Mengen von Electricität, dass man sogar die prickelnden Stiche, die der Sandsturm auf der Haut erzeugt, nicht den Sandkörnern, sondern vielmehr der Electricität des Sandsturmes zugeschrieben hat. Allein nicht nur an Samumtagen, nein selbst an manchem warmen windstillen Tag kann man leicht die Mengen von Electricität beobachten, die die Wüstenluft enthält. Beim Kämmen des Haares habe ich häufig das electrische Knistern gehört, und über das Fell eines jungen Steinbockes, den ich einige Zeit mit mir führte, konnte ich nicht streichen, ohne das Funkenknistern zu vernehmen. »Der Regen war in Murzuq[2]) in den seltenen Fällen seines Vorkommens von electrischen Erscheinungen begleitet. Bei trockenen Winden der südlichen Himmelshälfte besonders konnte man aus den wollenen Decken beim Ausklopfen electrische Funken locken, und oben auf der Terrasse des Hauses den grossen Hund Fräulein Tinne's nicht streicheln, ohne knisternde Funken hervorzurufen.«

Demgemäss ist es auch erklärlich, dass der Ozongehalt der Wüstenluft ein ziemlich bedeutender ist. Wir verdanken Zittel eingehende Beobachtungen darüber, welcher schreibt[3]): »Der Ozon-

1) Duveyrier, Les Touareg du Nord, p. 39.

2) Nachtigal, Sahara und Sudan I, p. 139.

3) Sitzungsberichte der K. Bayr. Academie der Wissensch., math.-physik. Classe 1874, p. 222.

gehalt der Wüste entspricht der Nr. 4—7,3 der Schönbein'schen Scala; er ist erheblich grösser als im Nilthal und in den Oasen.« Dass dieser hohe Ozongehalt eine Folge der Electricität ist, liegt nahe anzunehmen, und dass dieses Ozon, welches sich in der Wüste so leicht und so häufig bildet, einen grossen Antheil hat an gewissen Zersetzungs- oder Neubildungsprocessen in der Wüste, das ist nicht unwahrscheinlich. Die chemische Verwitterung wird gewiss sehr unterstützt durch den Ozongehalt der Wüstenluft, und dass die Bildung der schwarzen Schutzrinde ebenfalls in einem gewissen Zusammenhang mit dem Ozon der Wüstenluft stehe, soll später behandelt werden. Es genüge hier darauf hinzuweisen, welche geheimnissvollen Kräfte in der Wüste in Thätigkeit kommen, und dass unter diesen die Electricität und der Ozongehalt der Wüstenluft eine Rolle spielt bei den Denudationsvorgängen in der Wüste.

Blicken wir jetzt zurück auf die meteorologischen Factoren, welche in der Wüste wirken, so haben wir als wichtigsten den Wüstenwind zu betrachten, welcher die wesentlichsten Charaktere der Deflationslandschaften bestimmt, der, nicht an bestimmte Bahnen gebunden, überall wirken kann und Tag und Nacht, Jahr aus Jahr ein überall wirkt. Er entführt alles Gesteinsmaterial, welches durch die vier zerstörenden Kräfte, die Insolation, die Erosion, das Sandgebläse und die chemische Verwitterung geschaffen wurde; und nur local ist die Pflanzenwelt imstande, auf kurze Zeit in den Neulingen das lockere Material zusammenzuhalten, das der Wüstenwind entführen möchte.

Ausserdem finden wir die Erosion des rinnenden Wassers zwar selten, aber dann um so intensiver in Thätigkeit. Ein Gewitterguss in der Wüste kann unverhältnissmässig mehr leisten, als in anderen Zonen, weil keine Pflanzendecke und selten eine Schuttdecke den Felsboden verbirgt und schützt. Die Steine in der Wüste liegen locker aufeinander, des ersten Sturzbaches wartend, der sie mühelos abreisst und meilenweit davonschleppt.

Unsere Aufgabe ist es nun, die Thätigkeit dieser verschiedenartigen Kräfte zu belauschen und ihr gemeinsames Wirken in seine Elemente zu zerlegen; denn dadurch, dass so verschiedene Factoren

miteinander und durcheinander thätig sind, ergiebt sich ein compliciertes Zusammenspiel, ein Wetteifern heterogener Kämpfer, deren gemeinsames Ziel ist: den Wüstenboden einzuebenen und alle Niveauunterschiede zu vernichten, eine Denudationsfläche zu erzeugen.

II. Charaktere der Wüste.

Jeder Reisende, der die Wüste kennen gelernt hat, beobachtet wie mannigfaltig die topographische Gestaltung und der landschaftliche Charakter der Gegenden ist, welche man als »Wüsten« unter einen Begriff zusammenfasst, und wohl in jeder Wüstenbeschreibung giebt der Autor seinem Erstaunen Ausdruck darüber, wie wenig das landläufige Idealbild einer Wüste der Wirklichkeit entspricht. Statt der erwarteten monotonen sandbedeckten Ebene, findet man 6000 Fuss hohe Gebirge, tiefe Thäler, Hochebenen und Plateauabstürze, und nur gewisse Regionen Innerafrikas und Arabiens sind so unter Sanddünen begraben, dass man keinen anstehenden Felsen sieht.

Die verschiedenen Ausbildungsformen der Wüste können am leichtesten nach den vorwaltenden Oberflächengebilden, den verbreitetsten Sedimenten, in vier Typen getheilt werden, welche wir unterscheiden als:

1. Felswüste,
2. Kieswüste,
3. Sandwüste,
4. Lehmwüste.

Ich lehne mich bei dieser Eintheilung an Duveyrier[1]), F. von Richthofen[2]), A. von Middendorf[3]) und Euting[4]) an; jeder dieser vier Typen hat bestimmte landschaftliche und geologische Eigenschaften, ist charakterisiert durch das Vorwiegen bestimmter geologischer Vorgänge und stellt vom sedimentologischen Standpunkt eine Individualität dar.

---

1) Les Touareg du Nord. 1864, p. XXIX.

2) China I, p. 16. Führer für Forschungsreisende p. 506.

3) Einblicke in das Ferghanathal, Mém. Acad. Imp. St. Pétersbourg, T. XXIX, No. 1, p. 20 f.

4) Zeitschr. d. Vereins f. Erdkunde. Berlin 1886, p. 265.

Es liesse sich vielleicht nur darüber streiten, ob die Sand- und Lehmwüsten einen selbständigen Namen führen dürfen, denn, wie ich in einem späteren Abschnitt noch auszuführen habe, beobachten viele Reisende, dass die Sanddünen meist auf felsigem Boden aufruhen, welcher sogar zwischen den Dünenzügen häufig zu Tage tritt. Wir dürfen daher die Sandwüsten nicht als Sandmeere auffassen, welche bis in grosse Tiefe gänzlich aus lockerem Sande bestehen, sondern es sind vielmehr felsige Ebenen, auf denen oberflächlich Sandberge aufgeschüttet sind. Von diesem Gesichtspunkte hätten wir nur zwei Wüstenarten: bergige Wüste und ebene Wüste, und die letztere besteht entweder aus nacktem Felsen, oder darauf lagert eine Decke von Sand, von Kies oder von Lehm.

Aber bei der grossen, wenn auch häufig überschätzten Ausdehnung, welche die sandbedeckten Wüsten haben, dürfte es berechtigt erscheinen, die Sandwüsten als einen besonderen Typus auszuscheiden.

Die Embryonalwüsten, wenn ich so sagen darf, sind die Felswüsten, jene gewaltigen Gebirgsländer, die sich von Arabien bis nach dem Atlas finden, und die trotz ihrer bergigen Oberfläche ein Wüstenklima besitzen und demzufolge von den wüstenbildenden Kräften denudiert werden. Es ist begreiflich, dass mit der grösseren Höhe dieser Wüstengebirge ihr Wüstencharakter vermindert wird und dass die Erosion in ihnen im Verein mit chemischer Verwitterung infolge stärkeren Regenfalles bedeutsamer ist, als in ebenen Wüstengebieten, allein was sind 6000 Fuss Erhebung gegenüber dem Wüstenklima, das meilenweit in ihrer Umgebung herrscht und dessen Sandstürme hoch hinauf in die Lüfte zu eilen vermögen?

So sehen wir denn auch, dass die Hochgebirge des Sinai, die Hochebenen der Galâla Wüstengebiete sind, obwohl es dort öfters regnet, ja sogar Schnee fällt.

Was an diesen Felswüsten, sofern sie aus Granitgesteinen bestehen, besonders auffällt, das ist die Seltenheit von Schutthalden Fig. 16. Sie fehlen nicht etwa überall, allein sie gehören zu den Ausnahmen, und während bei uns in Europa ein jedes Gebirge von einem Schuttkegel umgeben ist, der den Fuss des Berges verhüllt und das Steilansteigen der Felsen allmälig vermittelt, so steigen die Granitgebirge der Felswüste meist ohne Schuttkegel unvermittelt aus der Ebene.

Wie die Inseln des Meeres steil und unter einem grossen Neigungswinkel sich erheben aus den Fluthen, die allen herabrollenden Schutt

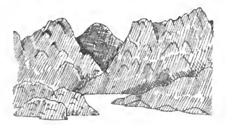


Fig. 16. Granitwände des Uâdi el Uegl in der südlichen Sinaihalbinsel.

entführten, so treten die Wüstenberge kahl und steil aus der Ebene heraus, und wer die Sinaiberge oder gar den 6000 Fuss hohen Djebel Gharib Fig. 17 aus der sandbedeckten Ebene mit dunkelrothen Steilwänden hat heraustreten sehen, der wurde inne, welcher Formunterschied besteht zwischen einem europäischen und einem Wüstengebirge.

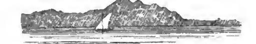


Fig. 17. Djebel Gharib in der arabischen Wüste, von der Sinaihalbinsel gesehen.

Bei Sandsteinbergen ist der Fuss oftmals von Sand verdeckt[1]), während bei Kalk- und Mergelbergen Fig. 18 ungeheure Schuttmassen am Fusse angehäuft sind, die gewöhnlich oberflächlich gebräunt, Übergänge zur Kieswüste bilden. Aber selbst wenn ein Schuttgehänge den Fuss der Berge verdeckt und überkleidet, so erheben sich doch die Berge häufig mit Steilabstürzen daraus, und weit verzweigte Thalsysteme kann man durchwandern, ohne eine Schuttlehne zu finden, welche den Aufstieg auf die Thalwände ermöglichte. Schweinfurth reiste in das Uâdi Rischrasch drei Tage lang hinein, ohne einen Ausweg zu finden.

Schuttkegel, wie sie durch einen Bergsturz oder einen periodisch

1) Vgl. diese Abhandlungen Bd. XIV, Nr. X, p. 50, Fig. 28. Dj. Nakûs.

herabstürzenden Wildbach entstehen, sieht man überall in den Wüstengebirgen (s. Fig. 45), aber jene sanft ansteigenden Schutthalden, die

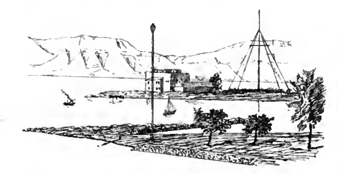


Fig. 18. Ende des Canals bei Sues, mit dem Atakahgebirge.

jede Steilwand in den Alpen umziehen, die vermisst man nicht selten in der Wüste. Ich werde in den beiden folgenden Abschnitten den Charakter der Felswüste näher zu schildern haben.

Die Kieswüste

ist ein Endproduct aller Wüstendenudation. Die steilen Gebirge sind eingeebnet und wo früher ein felsiger Hügel war, da findet sich jetzt eine flache rundliche Erhebung in einem Gebiet, das wesentlich aus Schichtgesteinen bestand; wo einst ein tiefes Thal

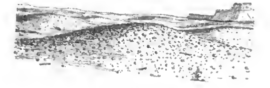


Fig. 19. Kieswüste.

(Uâdi) mit steilen Felsenrändern eine Zone grünenden Schotterlandes umfasst, wo der Gewitterregen gewaltige Wassermengen herabfluthete, da findet sich eine flache Einsenkung, jetzt auch mit Kies bedeckt, und nur spärliche Zwiebelgewächse vermögen zwischen dem kiesigen Boden Spuren der Feuchtigkeit zu sammeln. Braun



und schwarz sind alle kieseligen Steine geworden, der Sandwind hat sie abgeschliffen und weithin erglänzen im Sonnenschein die braunen Kiesebenen. Wie mit Speck bestrichen oder wie gefirnisst sehen die Hügel aus. Das ist die Wüste in ihrer »braunen Witwentracht« wie sie am Westrande des Nilthales beginnt und sich von hier viele Tagereisen weit hinein in die libysche Region erstreckt. Das ist die Wüste, die man beim Besuch des grossen versteinerten Waldes vom Djebel Achmar aus weit hinaus verfolgen kann am Nordabfall des Mokkatam. Und zur Kieswüste müssen wir auch die Hamâda rechnen, jene weitausgedehnten Plateaus, die mehr noch als die Dünenregion der Schrecken des Reisenden werden. »Unabsehbar[1]), wie eine Tischplatte dehnt sich die Ebene aus, und Steine, eckige scharfe Steine sind das einzige, was der Blick zu entdecken vermag. Braungefärbte, kantige Steinfragmente, fest gefügt wie ein Mosaik bilden den Boden auf Tagereisen. Wenn auch am fernen Horizont eine Gebirgsstufe mit steilem Abfall erscheint; hat man sie erstiegen, so findet man wieder dasselbe monotone entsetzliche Bild. Erst wenn das steinige Plateau überschritten ist, und die Stufen wieder abwärts führen, dann kann der Reisende hoffen Vegetation und Wasser zu finden.«

»Wir überschritten[2]) den Churmat-el-Tuzizzet und bald zogen wir über eine der schon erwähnten wüsten Ebenen hin, welche jeden Lebens bar, zwar nicht der Vorstellung entsprechen, die man sich noch allzu oft in Europa von der grossen Wüste macht, und die von Sand unzertrennlich ist, aber die Sahara am meisten charakterisieren. In mittlerer Erhebung gelegen, den felsenharten, ausgedörrten Boden dicht bedeckt mit kleinen, vielfach abgeschliffenen Steinen auf einer dünnen Lage dunkelgelblichen Staubes, jeder Vegetation entbehrend, führen sie die Bezeichnung Serîr, welches Wort eine Ebene bedeutet, die sich über ihre Umgebung erhebt. Sie unterscheiden sich von den Hamâden oder wüsten Hochebenen nur durch die höhere Lage der letzteren und die grösseren und unregelmässigeren Steine, mit denen dieselben bedeckt sind. In beiden bilden sich durch Verwitterung flache Erosionsthäler mit

1) G. Rohlfs, Reisen in Marocco p. 93.
2) Nachtigal, Sahara und Sudan I, p. 55.

Tafelbergen, deren Höhe dem Niveau des umgebenden Terrains entspricht und ihren ursprünglichen Zusammenhang mit demselben zeigt, und welche deshalb »Zeugen« genannt werden«.

Vielleicht entdeckt der geschulte Blick des Reisenden, dass seine Caravane über ein Pflaster von Versteinerungen reitet, wie ich es am Djebel Béckere östlich von Uâdi el Schêb erlebte, wo ich mehrere Stunden nur über mark- bis thalergrosse Nummuliten ritt, oder wie Rohlfs, Zittel und Andere berichten, wenn sie überall nur Austern zu ihren Füssen liegen sahen.

Die Sandwüste

entspricht am meisten jenem Bild, das sich der Laie von einer Wüste macht, und dennoch haben uns erst die Expeditionen der letzten Jahrzehnte belehrt, dass das centrale Sandmeer in der afrikanischen Wüste gar nicht existiert. Die kühnen Reisenden Barth,



Fig. 20. Dolomitklippe in den Sanddünen bei Tonkout, nach Mission de Chadames Fig. XXI, p. 275.

Rohlfs, Duveyrier, Nachtigal, Lenz u. A. haben die Sahara nach allen Richtungen gekreuzt und haben gezeigt, dass die Sandregion des Igidi ein schmaler gewundener Sandgürtel ist, dass nur westlich von den ägyptischen Oasen sich ein Sandmeer ausdehnt, das nach mehrtägigem Eindringen Zittel's sich als unbegrenzt darstellte und dem Vordringen ein Ende machte. Schon die Vertheilung des Sandes in der Sahara lehrt uns also, dass Wüste und Sand nicht nothwendig zusammengehören, dass daher auch alle die Schlüsse über die Entstehung der Wüste hinfällig werden, die auf der Verbreitung des Sandes fussten, und die in dem Satze gipfeln, dass die Sahara nichts weiter sei, als ein trockengelegter sandiger Meeresboden. Der Sand ist etwas Secundäres in der Wüste und es giebt Wüstengebiete ohne Wüstensand. Der Sand ist ein Product der

Wüste. DUVEYRIER rechnet aus[1]), dass in der algerischen Sahara 45 Millionen Hektar von Sanddünen bedeckt sind, während die Hamâdaplateaus 119 Millionen Hektar einnehmen. »L'observation de la totalité des dunes sahariennes nous les montre suivant une direction générale, du Nord-Est au Sud-Ouest; elle nous les montre sur une ligne plus étroite dans le vaste couloir entre le relief atlantic et le plateau central du Sahara, puis s'élargissant et s'étendant vers le Sud dès que les assises du Ahaggâr s'abaissent.«

Wenn man ähnliche Rechnungen für das ägyptische Wüstengebiet aufstellte, so würde man finden, dass hier der Sand noch geringere Flächen bedeckt im Verhältniss zu der Fels- und Kieswüste.

Die Sandwüste ist ausgezeichnet dadurch, dass ihre ebenen Flächen bedeckt sind mit Dünenketten und Hügeln lockeren Flugsandes, dessen Ursprungsgebiet oft weit entfernt ist von seiner Lagerstätte.

Während die Kieswüste als Sserîr und als Hamâda einen ungemein eintönigen Habitus besitzt, ohne merkliche Bodenerhebungen, ohne Gliederung der landschaftlichen Formen, ist die Sandwüste infolge der leichten Beweglichkeit des sie bedeckenden Sedimentes sehr verschiedenartig gestaltet. Hier finden wir einmal vollkommen ebene sandbedeckte Flächen, die nur von kleinen parallelen Rippelmarken bedeckt sind, an anderen Orten treten isolierte Sandhügel von rundem oder ovalem Umriss auf, und endlich begegnen wir weitausgedehnten Strecken, welche mit hohen Sanddünen bedeckt werden. Diese bis 100 m hohen, oft meilenlangen Sandhügel ziehen parallel nebeneinander hin, oder aber die Sanddünen sind bogenförmig gekrümmt und umschliessen halbkreisförmige Kesselgruben. Der Sand selbst ist von sehr verschiedener Farbe, Korngrösse und Beschaffenheit, meist durch helle reine Farbe ausgezeichnet, und mehr oder minder mit feinem Thonstaub gemengt.

Während Felswüste, Kieswüste und Sandwüste den grösseren Theil der ägyptischen Wüsten bilden, ist der vierte Wüstentypus, die Lehmwüste, relativ seltener, und auf geringere Räume beschränkt.

1) Les Touareg du Nord p. 36.

Die Lehmwüste

findet sich überall da, wo durch eine negative Strandverschiebung eines Meeresbeckens früherer Meeresgrund Wüstenland geworden ist. Der dieselbe bildende Meeresschlamm ist getränkt mit Gyps und Salz. Der Gyps krystallisiert zwischen dem Thon aus, das Salz aber infolge seiner Hygroskopicität wird, wenigstens in den tieferen Schichten, nur selten ganz getrocknet. Wenn daher auch die Oberfläche der Lehmwüste mit trockenen zersprungenen Thonschollen bedeckt ist, so befindet sich doch darunter meist ein glitschiger feuchter Thonboden und dieser erschwert das Reisen über eine Lehmwüste ungemein. Lehmwüsten finden sich vielfach in den Küstenebenen der südlichen Sinaihalbinsel und längs des Küstensaums des Mittelmeers, besonders im Gebiet der sogenannten Schotts südlich von Tunis [1]). Aber auch fern vom Meere finden sich ähnliche Bildungen. »In vielen Depressionen der Sahara finden sich Seen, welche durch Verdunstung zur »Sebcha« werden, d. h. es bildet sich eine harte Oberfläche mit schlammiger, sumpfiger Unterlage. Es giebt Seen, die so salzhaltig sind, wie z. B. der von Bilma, dass statt einer salzerdigen Kruste sich eine reine Salzkruste bildet. Es ist eigenthümlich, dass nach der Verdunstung des Wassers die Sebchaoberfläche immer in sehr regelmässige, meist sechseckige Polygone zerklüftet. Die Sebcha von Tamentil machte auf mich den Eindruck eines plötzlich erstarrten Meeres, dessen Oberfläche gekräuselt gewesen ist. Die Schollen befinden sich oft in senkrecht aufgerichteter Stellung, ähnlich einer Stromeisdecke bei Eisgang. Im Gebiet des Atlas nennt man Sebcha: Schott [2]).«

»Le [3]) sol de la sebkha de Mazazem, profondément et irrégulièrement défoncé, est formé d'un mélange de terre ou de grès décomposé et de sel marin; à l'extrémité de la sebkha, le sol se relève assez rapidement.«

Alle Oasen der nordafrikanischen Wüsten sind nach G. ROHLFS durch Sebchabildungen ausgezeichnet.

---

1) Vgl. CAPT. ROUDAIRE, La Mission des Chotts. Paris 1877.

2) G. ROHLFS, Die Sahara oder die grosse Wüste. Ausland 1872. p. 1088.

3) Mission de Rhadames p. 257.

Oft ist es schwer, die Grenze zwischen diesen verschiedenen Wüstentypen festzustellen, oft aber sind die Grenzen scharf und bestimmt. So lesen wir bei LADY BLUNT[1]): »Wie die centralarabische Sandwüste (Nefud) ohne jeglichen Übergang in der Hamada beginnt, so erreicht sie, ungefähr 5 Meilen von Dj. Aja entfernt, ebenso plötzlich ihr Ende, um wieder der Hamada Platz zu machen. Aus ihrer Sandsteinfläche erhebt sich dann 1500′ hoch in wilden phantastischen Formen der Dj. Aja, er macht den Eindruck, als ob ein Granitkoloss auf den anderen aufgethürmt worden sei.«

Die hier angegebene Eintheilung der Wüsten enspricht auch ziemlich genau den Typen, welche die Beduinen unterscheiden, wie ich sie nach DUVEYRIER, EUTING, NACHTIGAL, SCHWEINFURTH und mündlichen Mittheilungen des Herrn G. ROHLFS hier zusammenstelle:

1) Felswüste: Djebel
Tasili Plateau Westsahara
Rodm Innerarabien
Charaschaf für zerrissene Felsen in der libischen Wüste.

2) Kieswüste: a) Sserîr runde Kiesel, flachgewellte Flächen.
b) Hamâda scharfkantige Steine, gewöhnlich in röthlichem Lehm eingebettet, und Hochebenen bedeckend.

3) Sandwüste: Erg westliche Sahara
Igidi desgl.
Areg östliche Sahara
Nefûd Innerarabien
Ramle Sandebene.

4) Lehmwüste: Sebcha westliche Sahara
Schott Tunesien
Djefdjef in der Oase Sokna für polygonal zersprungene Lehmflächen gebraucht.

1) PETERMANNS, Mitth. 27, p. 217.

III. Die Felswüste.

1. Dislocationen in Ägypten.

Wer die geologischen Arbeiten der Gegenwart mit denen vergleicht, die vor wenig Jahrzehnten aufgenommen wurden, dem muss es auffallen, welche Fortschritte auf dem Gebiet der Tektonik gemacht worden sind. Während man sich früher damit begnügte, zu sagen, »die Schichten eines Profiles sind nicht horizontal und fallen unter einem bestimmten Winkel ein«, werden jetzt die tektonischen Verhältnisse eines Gebietes häufig zum ausschliesslichen Forschungsobject erwählt, und wo man früher kaum eine schwache Neigung der Schichten erblickte, da findet man heute ein ausgedehntes System von tektonischen Leitlinien und Sprungnetzen. Immer mehr bricht sich die Überzeugung Bahn, dass die massgebenden topo-



Fig. 21. Gefaltete Kreidekalke bei Abu Roasch.

graphischen Charaktere einer Landschaft durch tektonische Störungen bestimmt werden, und dass speciell die hydrographischen Grundzüge einer Gegend auf solchen beruhen. Bei genauerem Studium findet man selbst in dem Flussnetz des mittleren Saalthales[1]), das früher als reine Erosionswirkung betrachtet werden durfte, vielfache Brüche und Dislocationen und vermag einen ursächlichen Zusammenhang beider Erscheinungen nachzuweisen. Alles das aber ist eine Errungenschaft der neueren Zeit und so darf es uns nicht Wunder

1) R. WAGNER, Die Formationen des Buntsandsteines und des Muschelkalkes bei Jena. Jahresber. der Ackerbauschule, Zwätzen 1887.

nehmen, wenn wir in vielen geologischen Abhandlungen über die Wüste betont finden: »die Schichten liegen vollkommen horizontal«, oder »von tektonischen Störungen ist keine Andeutung vorhanden«. Ich will demgegenüber gleich hier vorausschicken, dass ich auf meiner Wüstenreise wenige Profile gesehen habe, die nicht in Zusammenhang gestanden hätten mit Dislocationen, und in vielen Fällen sind die Dislocationen so bedeutende, dass bei der Gliederung der in Ägypten auftretenden Schichtensysteme tektonische Störungen leicht zu Irrthümern Anlass geben können.

Meine Reise war viel zu ausgedehnt, als dass es mir möglich gewesen wäre, genaue tektonische Aufnahmen zu machen; das einzige Gebiet, das ich etwas im Einzelnen tektonisch untersucht habe, ist die Kreideregion westlich von Giseh [1]) und hier fand ich auf dem engsten Raum eine solche Complication der tektonischen Verhältnisse, dass ich weit entfernt bin zu glauben, durch meine 7tägigen Untersuchungen die Tektonik des Gebietes definitiv aufgeklärt zu haben.

Wer die Wüste nicht kennt, der kann sich keine Vorstellung davon machen, wie offen tektonische Störungen dort zu Tage liegen und wie leicht sie constatirt werden können. Eine der Hauptursachen ist die, dass die Wüstenluft meist von einer Durchsichtigkeit und Klarheit ist, welche wir in Europa nur überaus selten beobachten. Auf 40 km kann man mit der grössten Deutlichkeit sehen und dadurch ist man im Stande, auf eine gewisse Entfernung hin geologische Verhältnisse mit einiger Sicherheit zu beurtheilen. Duveyrier [2]) schreibt, dass er von Timozzoudjên bis Tasîli, auf eine Entfernung von 80 Kilometer, hat sehen können, und dass er oft 30—60 Kilometer weit mit dem Compas visiert habe. Der Mangel von Schutt und von Vegetation bewirkt



Fig. 22. Verwerfungen im Uâdi Ashar (südl. Galâla).

1) J. Walther, Sur l'apparition de la craie aux environs des Pyramides, Bull. de l'Inst. Egypt. 1887 und G. Schweinfurth, Petermann's Mitth. 1889.

2) Les Touareg du Nord, p. 130.

es, dass jede Felswand, jedes Berggehänge ein grosser Aufschluss ist, und wenn wir in Europa oft stundenweit nach einem Steinbruch oder einem Strasseneinschnitt suchen müssen, so liegt in der Wüste Alles so offen zu Tage, dass jede, selbst die kleinste Verwerfung überall deutlich sichtbar ist. Verwerfungen brauchen in der Wüste nie aus dem unregelmässigen Schichtenverband erschlossen zu werden, sondern man kann sie leibhaftig sehen, und oft genug sogar die Bruchspalte als offene Kluft beobachten.

Ich musste diese Bemerkungen vorausschicken, weil es sonst jeden Geologen mit Recht wundern müsste, dass ich versuche über die Tektonik eines nur durchquerten Gebietes zu sprechen.

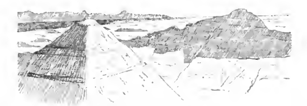


Fig. 23. Verwerfungen in der südl. Galâla an deren Absturz gegen das Rothe Meer (links im Hintergrund die südliche Sinaihalbinsel).

Alle Dislocationen in Ägypten sind nacheocän. Nur auf der Sinaihalbinsel habe ich beobachten können, dass schon vor dem Carbon eine Dislocationsperiode voransging; denn die unzähligen Porphyrgänge, welche mit NO-SW-Streichen und 80° SO-Fallen den centralen Granit des Sinai durchsetzen und doch jedenfalls einer dislocirenden Bewegung ihren Ursprung verdanken, werden discordant überlagert von dem carbonischen Sandstein des Uâdi Nasb, den ich mit carbonischen Fossilien im Uâdi Schellâl antraf[1]).

Die grössten Bruchlinien im Bereich der Sinaihalbinsel verlaufen SO-NW und entsprechen den Ufern des Meerbusen von Sues. Wie schon RUSSEGGER, dann FRAAS und SUESS ausgesprochen haben, ist dieser Busen ein versenkter Graben, der begrenzt wird von den beiderseitigen Küstengebirgen. In meiner oben citirten Abhandlung

1) Die Korallenriffe der Sinaihalbinsel. Diese Abhandl. Bd. XIV, Nr. X, p. 446.



habe ich die tektonischen Verhältnisse der Sinaihalbinsel durch eine Karte und viele Profile erläutert.

Auf der Westküste des Meerbusens von Sues, im Gebiet des Uâdi Arabâh und des Galâla-Plateaus, konnte ich jene Bruchrichtung nicht wiederfinden, denn der Abfall der beiden Galâla's gegen die Arabâhebene, je einem oder mehreren grossen Brüchen entsprechend, verläuft SW-NO und alle die kleinen Brüche im Gebiet des Kohlenkalkes im Nubischen Sandstein[1]) halten dieselbe Richtung ein. Im südlichen Uâdi Askar s. Fig. 22 sah ich viele kleine und grössere Verwerfungen, welche wieder SO-NW liefen, während die staffelartigen Brüche, die im Relief des Galâlaplateaus deutlich hervortreten, N-S verliefen. Wie beistehende Fig. 24 erkennen lässt, sind in den Steilabsturz der südlichen Galâla Brüche von bedeutender Sprunghöhe zu erkennen, welche ungefähr N-S verlaufen dürften.



Fig. 24. Verwerfung im Steilabsturz der südl. Galâla hinter dem Kloster St. Antonius.

So sehen wir schon in einem so engen Gebiet eine grosse Mannigfaltigkeit der Bruchrichtungen und ganz ähnlich sieht es beiderseits des Nilthales in der Nähe von Cairo aus. Die Schichten des Mokkatam fallen etwa 5° nach N. Das Uâdi Dugla entspricht einer fast O-W verlaufenden Bruchlinie, und die südlich davon ziehenden Thäler Uâdi Hoff und Uâdi Guerraûi zeigen in ihrem Verlauf ganz bedeutende, ebenfalls W-O streichende Bruchlinien.

Begeben wir uns auf die gegenüberliegende libysche Seite, so finden wir schon geneigte Nummulitenkalke als Basis der Pyramiden von Giseh s. Fig. 25, und wenn wir von hier in nordwestlicher

1) Über eine Kohlenkalkfauna aus der arab.-äg. Wüste, Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges. 1890.

Richtung vorschreiten, kommen wir in das schon erwähnte Kreidegebiet von Abû Roâsch mit seinen fabelhaften Dislocationen. Alle die, sehr versteinerungsreichen Schichten der Kreide sind als mantelförmige s. Fig. 24 Schalen umeinander gelegt, viele Bänke ragen als 50 m hohe, 70° geneigte Riffe aus dem Boden und bilden aufgebrochene Gewölbe von gewaltigen Dimensionen. Es ist ganz ausgeschlossen, dass diese Lagerungserscheinungen eine Folge von Unterwaschungen und Abrutschungen seien [1]).

Was aber diesen Aufbrüchen noch einen höheren Werth verleiht, ist, dass sie keineswegs auf Abû Roâsch beschränkt sind, sondern ganz ebenso im Gebiet des Kohlenkalkes vom Uâdi Arabâh (s. meine oben citirte Arbeit) und in der Sinaiwüste am G. Marchâ und G. Süffr wieder auftreten (s. Korallenriffe, Fig. 1 und Fig. 11 und Taf. VII Fig. 3).



Fig. 25. Dislocierte Kalkbänke am Fusse der Pyramiden von Giseh.

Aus allem dem geht hervor, dass im Gebiet der ägyptischen Wüsten tektonische Störungen keineswegs fehlen, dass sie vielmehr eine wichtige Rolle in der Configuration des Wüstenlandes spielen, und daher auch bei der genetischen Beurtheilung der Oberflächenformen berücksichtigt werden müssen. Mag es auch vorläufig nicht im Einzelnen zu belegen sein, so glaube ich doch meiner Ueberzeugung dahin Ausdruck geben zu sollen, dass ich ausspreche: *In den ägyptischen Wüsten kommen Dislocationen vor; sie bedingen häufig den Verlauf der Thäler und die Conturen der Bergländer und geben den ersten Anlass zu*

1) Ich bin fest überzeugt, dass ein genaues Studium dieses Gebietes für die Tektonik überaus werthvolle Resultate ergeben müsste, denn einerseits ist es schwierig, diese aufgebrochenen Gewölbe als durch Seitenschub entstandene Falten aufzufassen, andererseits stösst die Erklärung, welche nur Versenkung und stehenbleibende Horste annimmt, wegen der geringen Dimensionen dieser Aufbrüche auf Schwierigkeiten.

jener Mannigfaltigkeit von Niveauveränderungen, welche die wüstenbildenden Kräfte weiter ausarbeiten.

2. Die Formen der Felswüste.

Die Mehrzahl der Gesteine in Ägypten sind sedimentären Ursprungs und deshalb in horizontale Bänke gegliedert, welche wie die Blätter eines Buches übereinander liegen. Dadurch wird der Einwirkung der wüstenbildenden Kräfte eine bestimmte Richtung gegeben und werden Wirkungen erzielt, die zum Theil von der gebankten Structur der Felsen und nur zum andern Theil von dem Charakter jener Kräfte abhängig sind. Wollen wir daher die Wirkungsweise der meteorologischen Kräfte in der Wüste rein, isoliert, und unbeeinflusst von Nebenursachen beobachten, so müssen wir als Untersuchungsobject ein Gestein wählen, das von Natur homogen gebildet und durch keinerlei besondere Absonderungsformen verändert ist. Ein solches Gestein ist der Stockgranit, welcher in der arabischen Wüste am G. Gharib, und in viel grösserer Ausdehnung auf der Sinaihalbinsel zu Tage tritt. »In der Starrheit, mit der die krystallinischen Gebirge des G. Gharib sich vor dem Reisenden erheben, liegt etwas Abstossendes, fast Unheimliches; die intensiv rothen und schwarzen Färbungen, die schuttlose Nacktheit der Hänge, ihr unvermitteltes Aufsteigen aus einer glatten, fein kiesigen Unterlage erhöht diese Wirkung.«[1])

»Die Wüstennatur ist wenig erfinderisch, was uns einmal begegnet ist, das treffen wir zwanzigmal wieder. Wie die Stufen einer Treppe, reihen sich im Uâdi Budrah ein umschlossenes Hochthal an das andere. Jeder neue Kessel steht auf höherer Basis, als der den wir verlassen. Wenn wir ihn betreten, so glauben wir, seine Randberge müssten sehr hoch sein, sobald wir aber die letzteren ganz überblicken, so findet sich, dass ihre Unterlagen so flach und niedrig erscheinen, als ihre Gipfel hoch sind.«[2]) Auf dem Weg vom Uâdi Haschêb (am Râs Muhámmed) nördlich nach dem Uâdi Sáchara beobachtete ich ganz dieselben Verhältnisse wie ich sie im Uâdi Budrah gesehen und wie sie Ebers von dort mit so treffenden Worten schildert. Die Thäler im Granitgebiet des Sinai sind nicht langgestreckte Rinnen

1) P. Güssfeld, Petermanns Mitth., Bd. 23, p. 256.

2) G. Ebers, Durch Gosen zum Sinai. 1872, p. 131.

mit sich verästelnden Zweigen, sondern es sind ursprünglich isolierte circusartige Mulden, von einem Kranz steiler Wände eingerahmt, welche erst secundär durch Wassergüsse zu einem einzigen Thalsystem vereinigt wurden, und an dem gewundenen Längsfaden sich wie Kugeln eines Rosenkranzes anreihen (wie Ebers s. u. diese Erscheinung ungemein bezeichnend wiedergiebt).

L. Rütimeyer[1]) beschreibt in ganz ähnlicher Weise vom Sinai: »Immer grossartiger wurde beim Weiterwandern die Thalbildung, die besonders im Uâdi Sidr ihren Höhepunkt erreichte, wo gewaltige Felskessel mit violett-röthlichem Abendduft erfüllt, umgeben von himmelhohen Steilwänden aus rothem Granit, durchzogen mit breiten grünen Dioritgängen und gekrönt von Nubischem Sandstein, der in der Abendsonne wie glühendes Kupfer leuchtete, ein Bild von hinreissender Farbenpracht darboten.«

Diese Erscheinung welche jedem Reisenden im Sinaigranitgebirge auffallen muss, entfernt sich weit von den Thalformen, welche wir in unseren europäischen Gebirgen zu sehen gewohnt sind. Nur wenn wir uns in die höheren Alpen begeben, da finden wir ähnliche runde Thalgebilde. Die Möglichkeit einer Eiswirkung kann ich für die betreffenden Thäler nicht zugeben. Die von O. Fraas als Moränen beschriebenen Schottermassen am Sinai haben mit Eistransport nicht das geringste zu thun (s. unten Fig. 51), von Gletscherwirkung ist nirgends eine Spur zu entdecken. Ausserdem sehen diese Thalkessel keineswegs wie die Reste und Spuren eines früher vollkommen anderen Klimas aus, sondern sie harmonieren so sehr mit allen Eigenthümlichkeiten der Wüste, scheinen so frisch und recent gebildet, dass wir uns die naheliegende Frage vorlegen müssen, ob nicht die gegenwärtig dort wirksamen geologischen Kräfte imstande seien und gewesen sind, diese sonderbaren Circusthäler zu bilden.

Das Auffallende an den Circusthälern des Sinai ist die Thatsache, dass man ein tiefes Loch im Gebirge beobachtet und doch nicht den Weg sieht, auf dem das fehlende Gesteinsmaterial heraustransportiert worden ist und so tritt an uns die Aufgabe zu zeigen, wie diese Erscheinung als ein specifisches Wüstenphänomen zu erklären ist.

---

1) Globus, Bd. 57, No. 11, Sep. p. 6.

Wasser und Eis sind als geologische Transportmittel an die Schwerkraft gebunden und sind nicht im Stande, aus einem rings geschlossenen Thal Gesteinsschutt zu entfernen. Anders der Wind. Er kann überall hingelangen, kann überall seine Kraft entfalten, er überwindet die Schwerkraft und hebt das abbröckelnde Steinchen hoch empor, um es wirbelnd davon zu tragen. Wasser und Eis können allerdings selbst Gesteine zerstören und zerkleinern, diese Kraft besitzt der Wind nicht, aber dafür hat er in der Wüste kräftige Helfer. Die Insolation, die chemische Verwitterung, das Sandgebläse, sie alle zerkleinern das feste Granitgestein und der Wind braucht das so gelockerte und zerkleinerte Material nur aufzuheben und zu transportieren. Man muss es selbst beobachtet haben, mit welcher Kraft in diesen kahlen Granitfelsen der Sturm dahinbraust, um zu verstehen, dass er im Laufe der Jahrtausende eine Kraftleistung vollziehen kann, welche an Wirkung der Thätigkeit des fliessenden Wassers vollkommen gleichkommt und nur in der Art und Weise der Wirkung sich anders gestaltet.

Der Wind ist es, welcher in der Wüste solche Riesengruben ausgräbt, der Wind, der an keine Schwerkraft gebunden ist, der das verwitterte Material da herausholt, wo er es findet und der es dahin trägt, wo seine Kraft erlahmt. Insolation, Verwitterung, Erosion vertiefen eine flache Mulde im Granitgebiet; je tiefer sich diese Kräfte in die Felsen eingraben, desto mehr wird ihre Thätigkeit gesteigert, und wo bei uns der so gebildete Schutt liegen bleiben und dadurch weitere Schuttbildung verhindern würde, weil kein erodierendes Wasser ihn herauszutragen vermag, da stellt sich in der Wüste der Wind ein, wirbelt lustig in den Kessel hinein und hebt Alles hoch in die Luft, was er gelockert findet, um es mit sich fort zu tragen.

Dass secundär diese windgegrabenen Kessel durch erodierendes Wasser angeschnitten und mit einander zu einem hydrographischen System verbunden werden können, ist leicht verständlich und manch' interessantes Beispiel solcher Art habe ich im Granitgebiet der südlichen Sinaihalbinsel beobachtet.

Beistehend gebe ich eine topographische Skizze s. Fig. 26 des Uâdi Muchefred, eines rundlichen Kessels, in den von mehreren Seiten Thalsysteme münden uud der von dem Uâdiarm gleichen Namens nach Süden entwässert wird.

Dieses Uâdi war etwa 6 m tief mit Geröllen und Schutt angefüllt worden, und bildete den einzigen Abzugskanal für das umliegende Thalsystem, bis ein etwa 1 m breiter Porphyrgang, der die Granitwand westlich vom Ausgang des Uâdi durchsetzte, zerstört wurde und durch seinen Zerfall einer schmalen Thalspalte den Ursprung gab. Diese Spalte ist so eng, dass ein beladenes Kamel sie nicht passieren kann, während sie von den Beduinen gelegentlich als Pass benutzt wird. Durch die Bildung dieser Spalte wurde das ganze Uâdisystem verändert. Die Wassermassen, die vorher nach S. im Uâdi Mucheïred geflossen waren, nahmen ihren Abfluss durch diese enge Spalte nach W. Sechs Meter tief hatte sich schon das neue Abflussthal in die alten Uâdischotter eingegraben, und das gesammte hydrographische System der Umgegend war gründlich verändert durch die Öffnung einer schmalen Gangspalte im Granit.



Fig. 26. Uâdi Mucheïred in der südl. Sinaiwüste.
1. Granitgebirge.
2. Mit Schotter erfüllte Thalsohle.
3. Abflussrinne des Thales.

Es wäre leicht, noch viele ähnliche Beispiele zu bringen, welche lehren, wie das Uâdisystem einer Wüstenregion sich gelegentlich verlegen kann und wie die Circusthäler im Granitgebiet secundär durch Erosion zu Thalsystemen vereinigt werden.

Betrachten wir jetzt die positiven Reliefformen in der Granitwüste, so tritt uns, abgesehen von Einzelheiten, die schuttlose Steilheit und Zerrissenheit der Bergspitzen auffallend entgegen. In Europa bildet der Granit weite sanft gerundete Kuppen, in der Wüste wetteifert er an Zerrissenheit und Spitzengliederung mit den Dolomitzacken von Südtirol. Das Profil des Serbal, des Umm Schomer, des Gharib lässt sich nur mit dem Langkofel, dem Rosengarten und den drei Zinnen am Misurinasee vergleichen. Obenstehende Fig. 17, beistehende Fig. 27 und Fig. 28 oder die Zeichnungen Fig. 12, 14, 33 in meinen »Korallenriffen der Sinaihalbinsel«, werden diese Worte illustrieren. Und das es in der ganzen Wüste bis zum Atlas so ist, das lehren die Berichte und Skizzen aller Wüstenreisenden. Granit-

nadeln und phantastische Zacken begegnen dem Auge überall: »Etwa in der Mitte des Uâdi el Schêchs bildet der bröckelige weiche Granit auf mehr als eine Stunde Wegs phantastische Formen, nicht bloss Säcke, Vollkugeln und Hohlkugeln, Brillen u. s. w., sondern wirklich

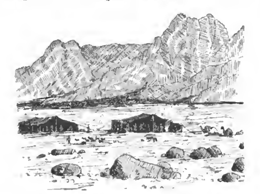


Fig. 27. Beduinenlager im Uâdi Timan.

überraschende Thiergestalten und Physiognomien. Man braucht seine Phantasie gar nicht anzustrengen, so sieht man einen Elephantenkopf, Affen, Panther, Kameele und dergleichen, Formen, die offenbar seit Jahrhunderten die Aufmerksamkeit aller Vorüberziehenden auf



Fig. 28. Uâdi Rischê in der südl. Sinaiwüste.

sich gezogen haben.«[1]) Man vergleiche mit dieser Schilderung die Zeichnungen, welche Duveyrier[2]) vom G. Idinên giebt; oder Doughty's

1) O. Fraas, Aus dem Orient, p. 20.

2) Les Touareg du Nord. Pl. II, Fig. 2.

Zeichnungen aus Arabien[1]), überall treten uns Felsformen entgegen, die nicht häufig in Europa im Granitgebiet beobachtet werden, die aber in der Wüste die Regel bilden und durch ihre Form und ihre Vertheilung beweisen, dass es äolische Kräfte sind, welche sie erzeugt haben, dass sie Deflationserscheinungen sind.

Ich habe keine der grösseren Oasen gesehen und kann daher meine Vermuthungen über die Bildung jener sonderbaren Depressionen weder mit Beobachtungen belegen, noch an dieser Stelle auseinandersetzen.

Bleiben wir auf dem Boden der Thatsachen und wenden wir uns jenen Oberflächenformen zu, welche die geschichteten Wüstengebirge zeigen. Wir werden ganz ähnliche Erscheinungen wie im Granitgebiet finden, nur mit dem Unterschied, dass die Bankung des Gesteins hier einen massgebenden Einfluss gewinnt.

Wir beginnen mit solchen Gebieten, in denen Verwerfungen und andere Dislocationen nicht betheiligt sind, und lesen in den Berichten der Reisenden von unermesslich grossen horizontalen Tafelgebirgen, welche überall in der Sahara auftreten.

»Mit dem Ikóhauen-Gebirge beginnt ein ausgedehntes Tafelland, das überall denselben Charakter trägt. Jener Sandstein, der den Reisenden vom Südrande der Hamáda el homra an ununterbrochen begleitet hat, bildet hier ausschliesslich die Masse des ganzen Gebirges. Nirgends ist die horizontale Lagerung seiner Schichten gestört, alle Gipfel und Kämme liegen im gleichen Niveau, alle Profile zeigen dieselben staffelartigen Absätze der einzelnen Schichten, und alle Thäler haben denselben Verlauf, eingesenkt in den groben Schotter, der sich auf beiden Seiten in langen Terrassen ausdehnt und gleichsam die unterste Stufe des Gebirges bildet. Ohne jeden Pflanzenwuchs und mit schwarzen Steinen übersäet, tragen diese Flächen ganz den Charakter der Hamáda und bilden eine schroffe Grenze für die Vegetation der tiefer liegenden sandigen Uâdi.«[2]) Man könnte den Charakter dieser Tafellandschaft nicht besser zusammenfassen, als es hier von dem leider so früh verstorbenen v. Bary geschehen ist. »Das Tümmogebirge im Südfesan erscheint in der Form eines

1) Arabia Deserta. Vol. I, p. 243.

2) Zeitschrift des Vereins für Erdkunde zu Berlin 1876. p. 184.

Quadrates wie ein ungeheuerer, vom Regen oder Wind ausgefurchter »Zeuge«. Der Gipfel jedes Berges oder Bergzuges ist glatt und alle sind fast von gleicher Höhe, woraus man schliessen kann, dass sie früher ein Ganzes bildeten. Es ist dies überhaupt durchgängig die Natur der Wüstenberge und Wüstengebirge; fast alle haben gleiche Höhe und überragen selten die Hamada. Man kann mit Recht sagen, dass alle Berge und Gebirge in der Wüste »Zeugen« im Grossen, oder grosse Tafelberge sind.«[1])

»Der nördliche Rand der algerischen Sahara wird von einer Menge isoliert aus der Erde aufsteigender Berge bedeckt, welche man wegen ihrer eigenthümlichen Form Tafelberge nennt, während sie der Araber als el meida (Tisch) bezeichnet. Solche 200—300 Fuss hohe Tafelberge schliessen in grosser Anzahl das flache Land von Biskra ein.«[2])

»Le chemin au grand Sinaoun est tracé sur un plateau qui provient d'une manière certaine de la démolition et de l'enlèvement d'un plateau supérieur dont il reste un nombre considérable de témoins. Ces témoins sont des montagnes souvent complètement isolées les unes des autres et réparties sans ordre sur le plateau inférieur; elles ont généralement la forme de troncs de pyramides quadrangulaires dont le sommet est occupé par la couche de grès à inoceramus; il ne reste parfois de cette couche que de quelques blocs offrant l'aspect de ruines de châteaux-forts du moyen-âge, ou qu'un seul bloc de un à deux mètres cubes, et parfois aussi la couche a complètement disparu, ainsi qu'une partie des couches inférieures.«[3])

»Im Uâdi Ralle (Tripolis) sieht man im Osten eine Reihe von flachen Hügeln, deren Oberfläche im gleichen Niveau liegt. Es sind dies offenbar die Reste einer früheren Hamada, die durch fortwährende Erosion (?) in viele kleine Tafelberge zertheilt ist,« und »Vom Südrande der grossen Hamada bis zum Tafelamingebirge findet sich immer rothbrauner Sandstein in Tafelgebirgen. Die Formen, in denen er auftritt, sind entweder Tafelberge von langgestreckter Gestalt, oder

1) G. Rohlfs, Die Wüste zwischen Fesan und Kauar. Petermanns Erg.-Hefte, Bd. 25, p. 18.

2) Buvry, Zeitschr. f. Allgem. Erdkunde. Berlin 1858, p. 194.

3) Mission de Chadames, p. 245.

wenn die Zerklüftung der obersten Schichten aufs Äusserste vorgeschritten ist, kommt eine gezackte Kammlinie zustande. Einzelne isolierte Massen sind oft auch in Kegelform anzutreffen, indem oben von der obersten Lage nur noch der jetzige Gipfelpunkt übrig geblieben ist, z. B. Nesaret, Erruin u. s. w.«[1])



Fig. 29. Der Zeuge Omm-el-Renneiem in der Oase Chargeh nach Schweinfurth in Petermanns Mitth. 1887, 19.

So sehen wir also in allen Theilen der Wüste, die von Dislocationen verschont sind, ausgedehnte Tafelgebirge mit steilen Rändern, die sich häufig auch ihrerseits aus tafelförmigen Stufen aufbauen, und ihnen vorgelagert kleinere Tafelberge, die einst im Zusammenhang mit jenen, jetzt von ihnen abgerissen und durch Einschnitte getrennt sind, deren Sohle der umgebenden Tiefebene gleich

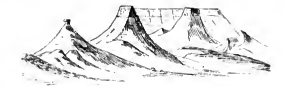


Fig. 30. Zeugengruppe Bir Terfaya nach Bernard, Quatre mois dans le Sahara S. 16.

ist. Diese Vorberge nennt man Zeugen (témoins), da sie die Marksteine für die frühere Ausdehnung des Tafelgebirges darstellen. Das Profil dieser Zeugen und Tafelberge ist allen Wüstenreisenden wohl bekannt, und wird durch beistehende Zeichnungen, Fig. 29 nach SCHWEINFURTH[2]) aus der Oase Chargeh, Fig. 30 nach BERNARD[3]) und

1) VON BARY, Zeitschr. der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 1876, p. 175 u. 196.

2) (Omm el Renneiem). SCHWEINFURTH, Petermanns Mitth. Bd. 21, Taf. 19.

3) (Bir Terfaya). BERNARD, Quatre mois dans le Sahara. Paris 1881, p. 16.

Fig. 31 [1]) erläutert. Die Bildung dieser Zeugen findet aber nicht allein im Grossen statt, sondern bis ins Kleinste ist eine geschichtete Felsmasse in der Wüste häufig nach dem »Zeugentypus« gegliedert.

Die Bildung der Zeugen ist in erster Linie dadurch bedingt, dass härtere Felsbänke mit weichen Schichten wechsellagern. Sind nur wenig härtere Bänke im Verbande der weicheren Schichten, dann sind die Zeugen hoch, sind sie häufig, so sind die Zeugen niedrig. Die Höhe der Zeugen entspricht der Mächtigkeit der weicheren Gesteinsschichten zwischen zwei härteren Bänken. Wo das Gestein keine solchen Härteunterschiede erkennen lässt, da fehlen auch die Zeugen, und statt dessen findet sich eine blose treppenartige Stufenlandschaft.

Zweitens werden die Zeugen seltener, je wasserreicher das Gebiet der Wüste ist. Während echte Zeugen in der Galâla nur



Fig. 31. Zeugenlandschaft bei Guelb-el-Zerzour nach Mission de Chadamès Fig. X, p. 245.

selten zu sehen sind, nehmen sie an Zahl zu, wenn man gegen Westen wandert, und ihre Hauptverbreitung treffen wir in den Gebieten, die am wasserärmsten sind und am typischsten die klimatischen Charaktere der Wüste zeigen.

Besonders wichtig aber ist die oben erwähnte Thatsache, dass es Zeugen von allen Dimensionen giebt. Man findet sie von 50 m Höhe bis zu 0,20 m Höhe; ganze Felsgehänge setzen sich aus kleinen und grossen Zeugen zusammen, ganze Flächen sind mit Miniaturzeugen bedeckt. Endlich finden wir sie in allen Entwicklungsstadien; solche die noch durch eine Brücke mit einer breiteren Terrassenstufe zusammenhängen, leiten hinüber zu den isolierten Sockeln. Nun ist die Ansicht mehrfach ausgesprochen worden, dass jene grossen auffälligen Zeugenberge in einem früheren wasserreichen Klima entstanden seien. Nehmen wir das an, so müssen alle jene Miniaturzeugen dasselbe Alter besitzen und da wir nachweisen können,

1) Mission de Chadamès X, p. 245.

dass seit der Pharaonenzeit keine tiefgreifenden klimatischen Veränderungen in Ägypten stattgefunden haben, so müssen die kleinen 20 cm hohen Zeugen mindestens 4000 Jahre alt sein und dürften seit jener Zeit ihre Form absolut nicht geändert haben. Im Gegensatz hierzu sehen wir fast vor unseren Augen in der Wüste ungemein intensive Denudationsprozesse sich vollziehen, welchen unmöglich ein 20 cm hoher Miniaturzeuge 4000 Jahre lang widerstehen kann. — Das beweist uns, dass die Zeugenbildung ein Vorgang ist, der sich in der Gegenwart noch vollzieht und der als eine specifische Wüstenerscheinung betrachtet werden muss.

Wenn, wie es von vielen Reisenden geschehen ist, die Zeugen als Erosionserscheinungen aufgefasst werden dürften, wenn gewaltige Wasserfluthen sie gebildet hätten, dann müssten wir sie innerhalb der Wüste an den Stellen finden, wo die erodierende Thätigkeit des Wassers sich nachweisen lässt, am Rande der Uâdi, und besonders in den wasserreichen Gebieten der arabischen Wüste. Ja noch mehr: Wenn die Zeugen eine Wirkung fliessenden Wassers wären, so müssten wir sie auf dem ganzen Erdenrunde finden, nur nicht in der Wüste, wo es so wenig Wasser giebt. Ich halte es für vollkommen undenkbar, folgende Thatsachen:

1) die Häufigkeit der Zeugen in den wasserärmsten Gebieten der Wüste,
2) ihre Seltenheit in den wasserreicheren Gebieten der arabischen Wüste,
3) ihr absolutes Fehlen auf der ganzen Erde mit Ausnahme der Wüsten,

mit der Hypothese in Einklang zu bringen, dass die Zeugen eine Wirkung gewaltiger Wasserfluthen seien.

Ich halte vielmehr die Bildung der Zeugen für eine Erscheinung, welche an das Wüstenklima gebunden ist, und will es versuchen, ihre Entstehung zu erklären. Vorher aber muss ich noch einer Erscheinung gedenken, welche das Spiegelbild der Zeugenform ist und die gleiche Entstehungsweise hat.

»Die Wadis der Hochebene von Hadhramaut stellen sich alle, wenige Ausnahmen abgerechnet, als tief eingeschnittene, von steilen Felswänden begrenzte, mehr oder minder breite Schluchten dar, deren Boden meistentheils mit einer üppigen Vegetation bedeckt ist.

Die mannigfaltigen Verzweigungen, sowie die mäandrische Form dieser Wadis, giebt der Karte dieses Hochlandes das Ansehen eines von Blättern entblösten ästereichen Baumes, dessen Krone nach W. gekehrt ist. Im Norden fällt das Plateau plötzlich zu etwa 1000 Fuss mauerartig zur schauerlich öden Ahkaf-Wüste nieder, zu der man mehrere tiefe Schluchten hinabsteigt«[1]). Man erkennt aus dieser Schilderung unschwer solche Verhältnisse wieder, wie sie als Erosionserscheinung in Europa häufig beobachtet werden. Einen von diesem sehr entfernten Typus finden wir jedoch in folgender Schilderung eines Wüstenthales am Sinai: »Der Weg vom Uâdi Gharandel nach Uâdi Tayibe führt durch mehrere, mässig grosse runde Flächen, welche amphitheatralisch von nackten, weissgelben Felsen und Wällen von Sand und Gestein rings geschlossen sind. Viele von diesen steilen Kesselwänden ist man aus der Ferne für Menschenwerk zu halten geneigt. Sie schliessen die Arena in ihrer Mitte derartig ab, dass man sich wie Sinbad der Seefahrer im Diamantenthale vergeblich nach einem Ausgang umsieht. Zieht man weiter, so findet sich freilich überall nach einem mässigen Ansteigen der Ausweg. Wie der Faden in einem Rosenkranz von Kugel zu Kugel, so leitet der Weg von einer umwallten Rundfläche zur anderen. Jede Viertelstunde führt ein neues, freilich dem vorigen gleichendes abgeschlossenes Bild vor unsere Augen«[2]). Mit dieser geradezu klassischen Schilderung zeichnet uns Ebers das andere Extrem eines Wüstenthales, und zwar in der Form, wie sie im Wesentlichen durch das Wüstenklima und nur zum kleinen Theil durch Wassererosion geschaffen wird.

Zwischen den beiden, eben gezeichneten Extremen giebt es nun in der Wüste alle Übergänge. Bald überwiegen an einem Uâdi die Amphitheater und Circus, bald überwiegt die gewundene Erosionsrinne; bald wandern wir in einem Thal, das sich nur wenig von europäischen Thälern durch seine Form unterscheidet, bald befremden uns die überhängenden Steilwände und die kesselartigen Erweiterungen. Aus einer Wüstenkarte, auf der nur die vielver-

1) von Wrede, Zeitschr. d. Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin. 1872, p. 234.

2) G. Ebers, Durch Gosen zum Sinai. 1872, p. 125.

zweigten Rinnsale eingetragen werden, in denen gelegentlich Wasser läuft und fast immer etwas Vegetation zu erblicken ist, kann man die Fremdartigkeit eines Wüstenthalsystems nicht recht herauslesen; wenn man aber auf die Terrainzeichnung achtet, wie sie Schweinfurth[1]) auf seinen Karten mit solcher treffenden Sicherheit und Klarheit einträgt, dann muss es Jedem, der Karten zu lesen versteht,

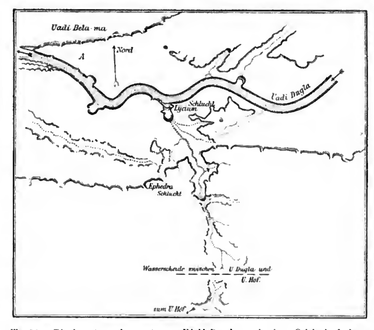


Fig. 32. **Thalsystem des unteren Uâdi Dugla** nach einer Originalaufnahme von G. Schweinfurth.

auffallen, wie anders die Topographie eines Wüstenlandes ist gegenüber der eines europäischen Berglandes.

Wer sich ein Bild verschaffen will von diesen sonderbaren Thalformen, der reite von Cairo aus nach dem Uâdi Dugla, s. Fig. 32.

Der Weg dahin führt an den Mamelukengräbern vorbei, über

1) Vgl. hierzu die Karten, Sitzungsber. der K. Acad. d. Wissensch. zu Berlin 1882. Tafel IV. Petermanns Mitth. Bd. 21, Tafel 19 u. a. m.

die Ruinen von Altcairo und dann über eine weite horizontale Kiesfläche, welche den Charakter einer Hamada besitzt durch die vielen scharfkantigen Kalksteinbrocken, welche mosaikartig dem Boden eingefügt sind. Zur Linken erheben sich die Steilwände des Mokkatam, nach Süden erblickt man die Wände des Djebel Turra, in welchem die Quadern für die Pyramiden von Giseh gebrochen wurden. Mitten in der Ebene erhebt sich, nur 3 m hoch, ein kleiner Zeuge als letzter Rest einer früher vorhandenen 3 m mächtigen Gesteinslage auf der Kiesebene. Das Uâdi Dugla mündet auf die Ebene und da, wo das Thal sich öffnet, erhebt sich ein steilaufsteigender Bergrücken *A* auf dem rechten Thalufer, der das Uâdi Dugla von dem Uâdi Bela-mâ trennt. Betrachten wir von der Höhe dieser Rampe das Uâdi, so fallen uns zuerst die steilen Gehänge desselben auf, dann aber sehen wir eigenthümliche Amphitheater oder Circusthäler in diese Gehänge hineindringen. Auf beifolgender Originalkarte G. Schweinfurth's sind vier solche Circusthäler sichtbar. Vergleichen wir die Lage derselben im Verlauf der Thalrinne, so erkennen wir deutlich, dass dieselben keinen Zusammenhang haben mit dem Wasserlauf, denn sie sind nicht etwa an der Aussenseite der Uâdikrümmungen, sondern an Orten vertheilt, welche bei Hochwasser keineswegs stärker durch Erosion angegriffen werden. Wir sehen aber zugleich, dass sie auch nicht durch Seitenbäche des Uâdi Dugla ausgewaschen sein können, denn erstens ist nirgends ein Wassereinschnitt in den überhängenden Felsen, zweitens ist das System von Nebenrinnsalen, welche an einem dieser Circus z. B. der Lyciumschlucht zusammenlaufen, viel zu unbedeutend, um die Form des tiefen Thalkessels mit seinen halbkreisförmigen Stufen zu erklären. Der unbefangene Beobachter muss sich sagen, dass die topographischen Depressionen von den Rinnsalen benutzt werden, aber nicht geschaffen worden sind. Hinter der Lyciumschlucht sehen wir ein zweites Circusthal und nach kurzer Strecke findet sich schon die Wasserscheide, so dass die hier zusammenfliessenden Wasser unmöglich so gross sein können, um solch' tiefe Schluchten von Kesselform auszugraben.

Solche Circusthäler oder Amphitheater sind aber keineswegs auf das Uâdi Dugla beschränkt, wir finden sie s. Fig. 32 in allen benachbarten Thälern und überall sehen wir, dass das erodirende Wasser nur secundär bei ihrer Bildung thätig sein

konnte, dass ihre Form durch andere Denudationskräfte bestimmt sein muss.

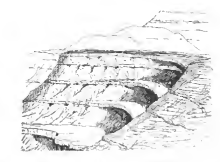


Fig. 33. Amphitheater am Nordabhang des Dj. Turra.

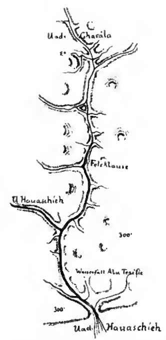


Fig. 34. Das untere Uâdi Hauaschieh (40 km NNW vom Dj. Gharib) nach einer Originalaufn. v. G. SCHWEINFURTH.

Nicht nur die Profilgliederung der einzelnen Thalrinnen zeigt in der Wüste derartige Eigenthümlichkeiten — nein, auch der Verlauf der Thäler ist häufig wesentlich unterschieden von dem Verlauf der Thäler in regenreichem Klima.

Die Nebenthäler, welche bei uns in Europa in ein Hauptthal münden, vereinigen sich in der Regel unter einem spitzen Winkel mit diesem. Von diesem Gesetz findet man in der Wüste auffallend häufige Ausnahmen. Beifolgende Fig. 34 ist die Copie einer handschriftlichen Karte G. SCHWEINFURTH's des Uâdi Hauaschieh, 40 km NNW vom Dj. Gharib. Betrachtet man aufmerksam die Verästelung der Thäler, so erkennt man, dass die Mehrzahl der Nebenthäler unter einem rechten Winkel, viele sogar unter

einem stumpfen Winkel in das Hauptthal münden. Und diese Erscheinung steht keineswegs vereinzelt da, sondern sie lässt sich oft in der Wüste beobachten, wenn man sein Augenmerk mehr auf die Configuration der Thäler als auf den Verlauf der eigentlichen Wasserrinne in der Thalsohle richtet.

Aber selbst in jener grossen Zahl von Fällen, wo ein Uâdi mit seinen tiefeingeschnittenen Wänden und vielfach verästelt mit seinen Seitenthälern in der Kartenprojection auch ganz den Charakter eines europäischen Erosionsthales hat, so lässt sich selbst dann oft in den Wüstenthälern ein grundlegender Unterschied bemerken:

Das Längsprofil eines Erosionsthales bildet eine Curve, welche anfangs nur schwach geneigt ist, sich dann immer steiler eingräbt und dann sich allmählich der Horizontalen nähert. Ein echtes Wüstenthal beginnt an seiner Ursprungsstelle mit einer Steilwand. Das Uâdi Omm Chûrm in der südlichen Galâla hat mir in dieser Beziehung den tiefsten Eindruck hinterlassen. Wir standen am Rande eines mehr als 1000 Fuss tiefen Abgrundes, blickten hinab auf die Sohle des Uâdi, das mit grünen Punkten gesprenkelt war, zwischen denen sich kleine schwarze Punkte wimmelnd bewegten. Es waren hunderte kleiner Beduinenziegen, welche da unten an saftigen Wüstenkräutern herumfrassen. Dann sahen wir das Uâdi gegen Süden sich mit gleichbleibender Steilheit in das Galâlaplateau hineinschneiden und nirgends war eine Stelle zu sehen, an welcher der kühne Fuss eines Bergsteigers heraufzuklettern vermocht hätte.

Professor SCHWEINFURTH erzählte mir vom Uâdi Rischrâsch, welches bei Atfih in das Nilthal mündet, dass er drei Tage lang in das Uâdi eingedrungen sei, ohne irgendwo eine Stelle zu finden, an der man die 300 Fuss hohen Felsen hätte erklimmen können. Der Reisende musste auf demselben Weg wieder herausreiten, da sich nirgends eine Möglichkeit ergab, aus dem Uâdi auf das Plateau zu kommen.

Dem unbefangenen Beobachter wird es nicht entgehen, dass wir in der Form dieser Wüstenthäler dieselbe Erscheinung, nur spiegelbildlich umgekehrt, wiederfinden, welche als Tafelberg, Zeuge und Treppenstufenland in der Wüste bekannt ist. In beiden Fällen handelt es sich darum, dass die denudierenden Kräfte nicht an die Bahnen gebunden sind, welche die Schwerkraft dem fliessenden

Wasser verzeichnet, sondern dass der wirbelnde Wind es ist, der überall denudiert, selbst an Stellen und unter Bedingungen, wo fliessendes Wasser machtlos sein würde.

Selbst für die Erosionsschluchten in unseren Tafelländern nimmt v. RICHTHOFEN[1]) eine Mitwirkung der »atmosphärischen Erosion« an bei der Ausgestaltung der Terrassen und Thalrinnen; wieviel mächtiger ist die Wirkungsweise dieser äolisch denudierenden Kräfte in einem Wüstenland, wo es so selten regnet. Und wenn wir a. a. O. lesen: je weiter man am Hauptfluss und seinen Nebenflüssen aufwärts geht, desto mehr treten stufenweise die oberen Terrassen auseinander, weil das steilere Gefälle und damit die stärkere Tiefenerosion sehr allmählich nach rückwärts fortschritt, daher hier hinreichende Zeit für grössere Ausweitung des Flussthales gegeben war — so gilt dies nicht für die Thäler der Wüste, wo das Gefälle am Ursprung der Thäler am stärksten ist, ja oft auf die Ursprungsregion beschränkt erscheint.

Denn eine eigenthümliche Erscheinung in der Configuration der Wüstenthäler ist es, dass dieselben eine ungemein gleichmässige Sohle haben. Gewöhnlich wird die Sohle eines Uâdi auf weite Erstreckung hin von ein und derselben Felsbank gebildet. Wiederum treffen wir auf dieselbe Erscheinung, die uns schon bei den Tafelbergen und Zeugen überraschte, dass die Form der Berge und Thäler durch härtere Bänke bestimmt wird, welche dort die Krönung des Tafelberges, hier die Sohle des Uâdi bilden.

In diesen Bildern haben wir den Gegensatz von Erosion und Deflation, von der Thätigkeit des Wassers und des Windes.

Nochmals aber möchte ich darauf hinweisen, dass beide Erscheinungen in der Wüste combiniert auftreten, dass sie sich ablösen und ergänzen und dass man daher bei der Erklärung der Berg- und Thalformen immer beiden Factoren Rechnung tragen muss.

Den letzten und augenscheinlichsten Beweis aber für die Ansicht, dass bei der Bildung der Wüstenthäler das erodierende Wasser eine untergeordnete Rolle spielt, erblicke ich in Erscheinungen, wie sie beifolgende Skizze Fig. 35 von G. SCHWEINFURTH wiedergiebt. Das Uâdi Habib ist eine Schlucht, welche etwa 100 Fuss tief und 200 Fuss

1) Führer f. Forschungsreisende. p. 163 Anmerk.

breit ist. Eingesenkt in geschichtete Kalke ist es in eine weite Fläche mit steilen Wänden eingeschnitten. Kurz vor der Einmündung desselben in das Uâdi Siut erhebt sich aus der Thalsohle eine Säule von gewaltigen Dimensionen und ist auf den ersten Blick als ein Theil des Kalkfelsens zu erkennen, der inselartig zwischen den beiden Thalwänden bis zum Niveau der Oberfläche stehen blieb. Dieser Pfeiler würde sich unmöglich haben erhalten können, wenn die Form des Thales wesentlich durch fliessendes Wasser bestimmt worden wäre. Denn das auf der Sohle des Thales sich allmählich eingrabende Wasser hätte ihn längst durchgesägt und unterwühlt. Die Existenz dieses Pfeilers lehrt uns vielmehr, dass die Hauptmasse des Thalvolumens durch Deflation heraustransportiert wurde, dass nur zum geringen Theil erodierendes Wasser dabei wirksam war.

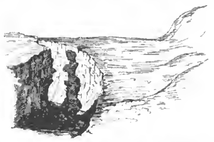


Fig. 35. Felspfeiler im Uâdi Habîb kurz vor dessen Einmündung in das Uâdi Siut, nach einer Federzeichnung von G. Schweinfurth.

So finden wir, dass in der Wüste die denudierende Wirkung des Windes an Kraft und Leistung die erodierende Thätigkeit des Wassers um Bedeutendes übertrifft, dass bei der Bildung der Uâdi in der Felswüste die Deflation eine hervorragende Rolle spielt.

Noch verwickelter aber wird das Problem der Uâdibildung in einer dislocierten Landschaft. Hier ist in erster Linie die tectonische Gliederung massgebend für die Gestaltung der Oberflächenformen.

Am Sinai ist, wie Fraas[1]) hervorhebt, »besonders auffallend die verkehrte Erosionsgestalt der Wadis. Steil und senkrecht, wie Eine Felsenwand steht das Gebirge vor dem Reisenden, der vom Rothen Meere herkommt, die Mündung der tiefen Thäler versteckt sich in

1) Aus dem Orient, p. 31.

einer Weise, dass man erst unmittelbar davor den Eingang hemerkt, als enge und tiefe Schlucht. So eng als das Thal des Dreisam zwischen dem sogenannten Himmelreich und Höllensteig, ist die Schlucht des Wadi Hehrân bei seiner Mündung zur Rothen Meer-Wüste; je weiter man ins Innere des Gebirges eindringt, um so breiter und weiter wird es, ohne dass der Grund für diese Erscheinung etwa in der Beschaffenheit des Gesteins, das hier leichter als dort verwitterte, gefunden werden konnte. Dasselbe Verhältniss zeigt das Feirân, enge Schluchten bei seinem Ende, weite Wadis in seinen Anfängen, die kaum merklich mit anderen ebenso flachen Wadis zusammenhängen.« Ich habe schon in den »Korallenriffen der Sinaihalbinsel« darauf hingewiesen (S. 448), wie dieses Phänomen sich erklärt. Ein Blick auf die jener Abhandlung beigegebene geologische Karte lehrt, dass die Westküste der Sinaihalbinsel durch Dislocationslinien gegegliedert wird, welche SO—NW verlaufen. Das mittlere und obere Uâdi Feirân läuft im Streichen der Schichten, ungefähr auf der Grenze von Stockgranit und Lagergranit plus Nubischem Sandstein. Der Unterlauf des Uâdi läuft senkrecht zum Streichen und wird, wie die Beschaffenheit der Schichten (s. Korallenriffe Fig. 5) an der Mündung des Uâdi lehrt, durch eine Verwerfungslinie hedingt, welche als »Blatt« die Schichten kreuzt. Dass hier quer zum Streichen der Schichten die Breite des Uâdi geringer sein muss, als im Oberlaufe desselben, ist leicht verständlich. Ähnlich liegen die Verhältnisse im Uâdi Hehrân, dessen Unterlauf ebenfalls senkrecht zum Streichen der grauen Lagergranite läuft, während sein Oberlauf einer jener kesselartigen Erweiterungen entspricht, wie ich sie im Anfang vorstehenden Abschnittes besprochen habe.

Die Mannigfaltigkeit derartiger, durch Dislocationen heeinflusster und von dem vorhin gegebenen Schema dadurch abweichender Uâdibildungen ist so gross, dass ich diesen Abschnitt über Gebühr ausdehnen müsste, wollte ich alle die verschiedenen Fälle und Möglichkeiten besprechen, Möglichkeiten, die nicht etwa eine bloss theoretische Existenz haben, sondern die ich selbst heobachtet habe. Alle diejenigen Schichtenveränderuugen, die wir als isoclin, anticlin, synclin kennen, gerade und gebogene, continuirliche und unterhrochene Verwerfungen geben Anlass zur Uâdibildung und erzeugen jene Fülle von verschiedenen Thalformen, die man in der arabischen Wüste

beobachten kann. Berücksichtigt man weiter, welche Combinationen sich dadurch ergeben, dass bald mehr die Erosion lange Rinnen wühlt, bald die Deflation Circus und Amphitheater ausgräbt, dass das Gesteinsmaterial nach Härte und Weichheit, das Auftreten oder der Mangel der schwarzen Schutzrinde, Sandgebläse und Insolation in dem Wettbewerb der wüstenbildenden Kräfte thätig sind, dann mag man sich eine Vorstellung davon machen wie schwierig es wird, die Vorgänge ins Einzelne zu verfolgen und ihre Wirkung gegeneinander abzuschätzen.

Aber darauf muss ich nochmals nachdrücklich hinweisen: das erodierende Wasser spielt bei allen diesen Vorgängen zwar eine Rolle, aber eine untergeordnete. Es regnet in der Wüste nur einmal im Jahr, aber die Sonne scheint täglich und der Wind eilt täglich über Berg und Thal. Kräfte, die in unseren Breiten kaum zur Geltung gelangen, spielen in der Wüste eine tonangebende Rolle und wir haben nicht nöthig hypothetische Wasserfluthen zur Erklärung räthselhafter Wirkungen anzunehmen, wenn wir so räthselhafte, ungewohnte Kräfte alltäglich wirken sehen.

Um in zusammenfassender Weise die Vorgänge darzustellen, welche bei der Denudation eines Gebirgslandes in der Wüste thätig sind, brauche ich nur diejenigen Bilder aneinander zu reihen und als Typen eines fortlaufenden Entwicklungsprocesses darzustellen, welche man nebeneinander überall in der Wüste leicht beobachten kann. (Dass ich hierbei im Folgenden einen theoretischen Fall zur Vorlage nehme, dürfte damit zu begründen sein, dass Specialkarten der arabisch-ägyptischen Wüste fast nur in den Originalblättern Professor Schweinfurth's existiren, und dass die Nomenclatur der Berge in der menschenleeren Wüste so spärlich ist, dass ich für meine Beispiele keine Namen anzugeben wüsste. Jeder der selbst in der Wüste gereist ist, wird diese Schwierigkeiten zu würdigen wissen.)

Versuchen wir also, den einfachsten Fall eines ungestörten Tafellandes als Grundlage wählend, uns den Vorgang darzustellen, der sich bei der Denudation eines solchen in der Wüste vollzieht. Es handelt sich hierbei nicht etwa um eine hypothetische Speculation, sondern wir haben nur die verschiedenen Denudationsbilder, die man in der Wüste nebeneinander beobachtet, als Stadien eines fortlaufenden Entwicklungsprocesses aneinander zu reihen.

Eine Hamada bestehe aus fünf übereinander zu Tage tretenden Schichten. Zu unterst s. Fig. 36 eine Mergelbank *E* von beliebiger Mächtigkeit. Darauf liege eine feste Kalkbank *D* einen Meter dick, dann folgen 20 m Mergel = *C*, dann abermals eine feste Kalkbank *B* und endlich nochmals eine Mergelschicht *A*. Ohne Verwerfungen und mit sanft abgeböschten Gehängen erstrecke sich diese Schichtenreihe über eine mehrere Meilen weite Fläche.

Sobald die wüstenbildenden Kräfte auf diesen Gesteinscomplex zu wirken beginnen, wird zuerst der Wind die Mergelschichten *A*,



Fig. 36. Aolische Abtragung eines Tafelgebirges in der Wüste I. Stadium.

welche durch Insolation, Verwitterung und Sandgebläse gelockert wurden, allmählich entführen und die Hamada zu einem Tafellande umgestalten. Zu gleicher Zeit wird der Wind die zu Tage tretenden Schichtenköpfe von *C* denudieren, abermals unter Mitwirkung aller übrigen Wüstenkräfte. Es wird dadurch das Profil des Plateauabfalls ein anderes. Die Mergel *C* unter der festeren Kalkbank sind jetzt das Einzige, das die Deflation intensiv zu zerstören vermag. Die Fläche der Bank *B* bietet diesen Kräften einen nachhaltigeren Widerstand (s. Fig. 37).



Fig. 37. Aolische Abtragung eines Tafelgebirges in der Wüste II. Stadium.

Aber wenn die Deflation diese Bank auch nicht von oben herein zerstören kann, so beginnt sie die Bank zu unterminieren, und wenn erst eine Hohlkehle unter der Bank geschaffen ist, wenn hier die Verwitterung im Schatten den Deflationsprocess unterstützt, dann dauert es nicht lange, bis die Bank *B* soweit überragt, dass sie herabbrechen muss und dass ein Haufen grober Felsblöcke am Fusse der Bergwand (s. Fig. 38 u. Fig. 96) sich findet. Bei dem Herabbrechen

dieser Kalkbank wird sich leicht ergeben, dass an einzelnen Stellen dieser Vorgang leichter erfolgt als nebenan, und dass demzufolge aus der Vogelperspective gesehen die ganze Hamada einen eingebuchteten Umriss erhält. Auch diese Erscheinung kann man häufig in der

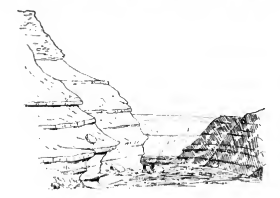


Fig. 38. Deflation im Uâdi Dugla.

Wüste beobachten (s. Fig. 38 u. 39). Man sieht sogar oft, dass diese Buchten des Umrisses eines Tafelberges als kleine, kurze, blind endende Thäler



Fig. 39. Der Radiolitenkessel bei Abu Roasch. Links oben Fundamente der nördlichsten Pyramide, rechts im Hintergrund ein für den Bau derselben aufgeschütteter Damm.

in das Tafelland hineindringen, eine Erscheinung, welche durch den gelegentlich fallenden Regen nicht bedingt, aber unterstützt wird. In diesen kurzen Thalgassen ist die denudierende Thätigkeit infolge der

Verwitterung eine grosse. Ich lag eines Mittags nahe bei Râs Abu Senîme in einer solchen blind endenden Schlucht und konnte verfolgen, wie die Sonne allmählich an der Mergelwand vorrückend, einen Theil nach dem anderen beschien. Sobald ein Theil der Uâdiwand von der Sonne getroffen wurde, dann lösten sich auch sogleich einige Mergelstückchen infolge der Erwärmung ab und bröckelten längere Zeit hindurch zu Boden.

Durch andere Factoren wird dieser Vorgang wesentlich unterstützt. Die Mehrzahl der Felsen in der Wüste ist marinen Ursprungs und enthält grosse Mengen von Salz. Dieses Salz im Gestein spielt in der Wüste dieselbe Rolle, wie der Spaltenfrost in unseren Gebirgen. Das Salz ist sehr hygroskopisch und vermag selbst geringe Spuren Feuchtigkeit aus der Luft anzuziehen — eine Salzthonfläche (Sebcha) ist selbst bei trockener Luft feucht und schwierig zu begehen, weil der Fuss leicht ausgleitet. Diese überall im Gestein vertheilten Salzmengen befeuchten während der Nacht die Felsen, und wenn dann am Tag die Sonne darauf scheint und oberflächlich die Feuchtigkeit wieder ausgetrieben wird, dann verändert sich das Volumen der Gesteinsrinde, es bilden sich Sprünge, Verzerrungen, Blätter, und leicht bröckeln die oberen Schichten ab. Dieser Vorgang vollzieht sich täglich, oft wiederholt, und man muss ihm eine grosse Rolle im Wechselspiel der denudierenden Wüstenkräfte beimessen.

Zwar werden nur weiche Schichten von diesem eben geschilderten Vorgang betroffen, allein indirect beeinflusst derselbe auch härtere eingeschaltete Bänkchen. Sie werden aus den weicheren Schichten herausmodelliert, und bald so weit untergraben, dass sie den Halt verlieren und ebenfalls abbrechen und zu Boden fallen. Dort bemächtigen sich ihrer andere Kräfte, die bei Schilderung der Kieswüste ausführlich besprochen werden sollen, und bald ist nur noch ein Häufchen Staub übrig, das der Wind leicht davonträgt.

Dieser Vorgang, den ich im Laufe einer Viertelstunde ganz erhebliche Gesteinsmassen ablösen sah, vollzieht sich täglich und Jahre hindurch, und erweitert das kleine Thal immer mehr. Der zu Boden gefallene Mergel wird dort durch die Sonnenstrahlen zerkleinert, er zerfällt in immer kleinere Stückchen so lange bis diese klein genug sind, um vom Wirbelwind erfasst und aus der Schlucht herausgetragen zu werden. Abermals stürzt die Kalkbank *B* soweit sie

überragt hinab, und wenn auch die Deflation diese gröberen Blöcke nur wenig anzugreifen vermag, so nagt sie doch auch an ihnen, und

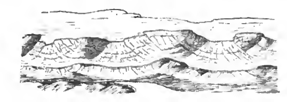


Fig. 40. Kalkterrassen im Osten des grossen versteinerten Waldes.

sobald einmal ein Gewitterregen hernieder stürzt, dann transportiert er die Blöcke heraus, und allmählich werden sie doch zerkleinert, wie ich im folgenden Abschnitt noch auszuführen habe. So wird das Tafelland von allen Seiten an- und ausgefressen s. Fig. 40, 41; kleine Uâdis dringen hinein, und es entsteht ein Umriss, wie die

Fig. 41. Djebel Ajuhss nach Schweinfurth, Petermanns Mitth. Bd. XXI, 19.

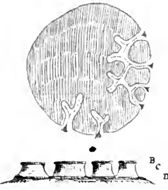


Fig. 42. Äolische Abtragung eines Tafelgebirges in der Wüste III. Stadium.

beifolgende Fig. 42 zeigt, doch fast ohne die Mitwirkung erodierenden Wassers.

Immer tiefer nagen sich die kleinen Uâdis, sie verästeln sich, sie vertiefen sich, aber ihre Grundfläche bleibt immer die Kalkbank *D*, ihre Wände werden von dem Mergel *C* gebildet und nach oben wird die Bergmasse abgeschlossen durch die Bank *B*. Das Wasser

transportiert aus den Uâdis die groben Blöcke heraus, aber die Hauptleistung vollziehen äolische Kräfte.

Auf einem späteren Stadium s. Fig. 42 sehen wir auf dem Profil eine Zeugenlandschaft, in der Vogelperspective erblicken wir das Tafelland

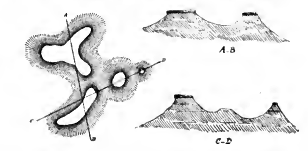


Fig. 43. Projection und Profile einer Zeugengruppe Kef-el-Gara nach Mission de Chadamès Fig. XVII, p. 258.

in ein mittleres Tafelgebirge und vorgeschobene Zeugen zerlegt, und schon bilden sich hydographische Abflussrinnen zwischen den Zeugen.



Fig. 44. Aolische Abtragung eines Tafelgebirges in der Wüste IV. Stadium.

Aber der Deflationsprocess geht noch immer weiter. Die freistehenden Zeugen bieten der Denudation geringeren Widerstand als die mittlere Tafelmasse und einer nach dem anderen verschwindet s. Fig. 43. Endlich ragt s. Fig. 44 aus der weiten durch die Bank *D* gebildeten Wüstenebene noch ein einzelner mittlerer Zeuge heraus, der letzte Rest einer früher weit ausgedehnten Schichtendecke. Der Zeuge wird infolge stärkerer Verwitterung an der Schattenseite schief s. Fig. 45 und unregelmässig, auf der Nordseite wird die schützende Kalkplatte stärker untergraben, sie bricht endlich

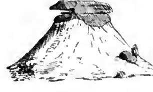


Fig. 45. Zeuge im Uâdi Guerraui.



herab und bald verschwindet auch der letzte »Zeuge« einer früher weitausgedehnten Gesteinsschicht und eine Ruhepause tritt ein in der Abtragung des Landes, denn die Kalkbank *D* widersteht energisch und lange den Angriffen der wüstenbildenden Kräfte. Sobald es ihnen aber gelungen ist, irgendwo ihr Werk am Rand und unter

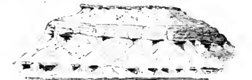


Fig. 46. Schuttkegel an einem Hügel am SO-Ende des Mokkatam gegen das Plicatulathal.

der Kalkschicht in dem Mergel *E* anzufangen, dann beginnt der Denudationsprocess aufs Neue, abermals entsteht eine Zeugenlandschaft mit Circusthälern, und abermals wird auch diese abgetragen und eine weite Kieswüste gebildet.

Als Gegenstück zu der eben geschilderten Zeugenbildung und Denudation in einer undislocierten Tafellandschaft will ich jetzt noch kurz die Denudationsvorgänge in einem complicirteren, durch Dislocationen verwickelteren Gebiete schildern. Auch hier brauche ich nur das aneinander zu reihen, was ich nebeneinander in der Wüste häufig beobachtet habe, und zwar dienen mir hier als Grundlagen die



Fig. 47. Dislocierte Kreidekalke bei Abu Roasch.

Beobachtungen vom Djebel el Gaâ, NW von Abu Roasch s. Fig. 47, und vom Djebel Süffr s. Korallenriffe Fig. 11 und einigen anderen Bergen am Sinai.

Nehmen wir an, dass der Aufbruch des Dj. Süffr nicht nur Sandstein, Kreidemergel und Nummulitenkalk, sondern auch den unter dem Sandstein liegenden Granit zu Tage gebracht hätte, so würde

ein schematisches Profil durch den Dj. Súffr folgendes Bild bieten: Fig. 48. Die Einwirkung der denudierenden Kräfte in der Wüste auf die in kleinem Raum hier zusammen vorkommenden Gesteine wird nach ihrer Härte eine sehr verschiedene sein.

Der Granit wird schalig zerspringen und zu lockerem Feldspath-quarz-hornblende-grus zerfallen (s. u. Entstehung des Wüstensandes). Der Wüstenwind wird die durch Insolation immer mehr zerkleinerten Fragmente des leichter zerstörbaren Feldspathes rasch entführen. Quarz- und Hornblendesand bleibt zurück. Der Sandstein beiderseits

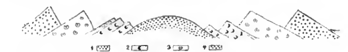


Fig. 48. 1. Granit. 2. Sandstein mit Manganknollen. 3. Kalk mit Ammoniten. 4. Kalk mit Nummuliten.

von dem Granit wird sich theilweise mit schwarzer Schutzrinde umgeben und dadurch sehr resistent werden, theilweise wird er zerstört und zerfällt ebenfalls zu Quarzsand. Die Kreideschichten werden je nach ihrer Härte verschieden stark angegriffen, aber da sie nicht



Fig. 49. Schichtenköpfe von Kreidekalk bei Abu Roasch.

nach oben durch eine feste Decke geschützt sind, und die schräg einfallenden Schichten der Deflation keinen grossen Widerstand leisten können, werden sie zu kleinen Hügeln mit einzelnen härteren Bänken abgeschliffen, wie man an den Kreidebänken bei Abu Roasch s. Fig. 49 vortrefflich beobachten kann. Die verkieselten Exogyren und Korallen sind widerstandsfähiger als das umgebende Gestein und werden übrig bleiben, wenn dieses auch zerstört wird, der Nummulitenkalk endlich wird in ähnlicher Weise zerstört und die härteren

Nummuliten liegen als Kies in der Wüste offen zu Tage. Ist dieses Ziel erreicht (Fig. 50), ist die vorher vielgestaltige Stelle eingeebnet worden, dann ruht die Deflation und nur die Bildung eines Wasserrisses oder neue Dislocationen werden neuen Anlass geben zu neuen Denudationsvorgängen.

Stapff hat ganz Ähnliches in Südafrika beobachtet, wenn er[1]) schreibt: »Endresultat der Winderosion sind flache Rundhöcker, von

Fig. 50. Denudationsebene in der Wüste, durch Deflation entstanden aus dem Hügelland Fig. 48.

Gletscherhöckern nur durch rauhere Oberfläche, den Mangel an Riefen und das Fehlen scharfer Leeseiten unterschieden. Heisses Klima mit kühlen Nächten trägt wesentlich durch Abschalen und Zerbröckeln des Gesteins zu ihrer Bildung bei.«

3. Die Uâdischotter.

Wir haben schon mehrfach darauf hingewiesen, dass der Regen in der Wüste zeitlich und örtlich begrenzt ist. In unseren Breiten dürfen wir annehmen, dass nahe bei einander liegende Gebiete annähernd gleich viel Regen jedes Jahr erhalten und dass sich dieser Regen gleichmässig auf das gesammte Areal vertheilt. Die Fläche, welche in einem Monat mehr Regen als eine benachbarte erhalten hat, bekommt dafür in dem nächsten Monat weniger, so dass die Regenmenge benachbarter Gebiete, wie uns die Betrachtung jeder Regenkarte lehrt, als annähernd gleich geschätzt werden darf.

In der Wüste fällt selten Regen, dieser Regen tritt als Strichregen auf und dadurch ist es bedingt, dass nahe beieinander liegende Gebiete ganz verschieden grosse Mengen Niederschlag erhalten. Diese Erscheinung wurde mir ganz besonders einleuchtend vor Augen geführt bei meiner Reise durch die südliche Sinaihalbinsel. Am 5. April 1887 erlebte ich im Uâdi Mbel einen heftigen Gewitterregen, der binnen kurzer Zeit die trockene Thalsohle 20 cm hoch mit Wasser füllte. Das Wasser verlief ebenso rasch, als es gekommen war.

1) Verh. d. Ver. f. Erdkunde zu Berlin 1887, p. 49.

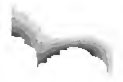
Am folgenden Tage kreuzte ich von Uâdi Mbel bis Uâdi Timân eine grosse Anzahl von Thalrinnen und hatte Gelegenheit zu vergleichen, in welchem Maasse dieselben vom Wasser betroffen worden waren. Hierbei zeigte es sich, dass nahe beieinander liegende Thäler ganz verschieden stark bewässert worden waren, in dem Einen war Alles überschwemmt gewesen, gelber Schlamm überzog alle Steine, Salsulabüsche waren ausgerissen und weit verschleppt, kleine Wasserpfützen waren noch sichtbar, in dem nächsten Thal war Alles trocken und keine Spur rinnenden Wassers zu beobachten. Beduinenfamilien mit hunderten kleiner Ziegen und Schafe begegneten uns, um die überschwemmten Thäler aufzusuchen, da dort binnen wenigen Tagen eine üppige Vegetation emporspriessen musste.

Die Regen in der Wüste haben ein ähnlich begrenztes Verbreitungsgebiet wie die Hagelschläge in unseren Breiten, und wie diese, üben sie ihre Wirkung auf zeitlich und örtlich begrenztem Raum.

Nun ist die Erosion eine unmittelbare Folge des Regens und in ihren Wirkungen an die Verbreitung desselben gebunden, in der Wüste mehr als bei uns. Denn der Wüstenboden ist ausgetrocknet, beständig rinnendes Wasser ist selten und noch seltener erreicht es das Meer. In mehreren Uâdis der Sinaihalbinsel trifft man rinnendes Wasser (Uâdi Tayibe, Uâdi Feirân, Uâdi Hebrân etc.), allein dasselbe versiegt, ehe es das Meer erreicht. Ebenso ergeht es dem Wasser, das bei Gewitterregen die Uâdi erfüllt. Es wird rasch vom ausgedorrten Boden absorbiert und kann nur auf kurzen Strecken erodierend wirken.

Wir sehen also, dass die erodierende Kraft in der Wüste zeitlich und örtlich eng begrenzt wird, dass jeder Regen ein neues, anderes Verbreitungsgebiet hat, und demzufolge auch seine Erosionswirkungen verlagert.

Die Erosion besteht darin, dass fliessendes Wasser Gesteinsbrocken losreisst, rollt und abrundet, die Sohle des Thales damit bearbeitet und die Gerölle da ablagert, wo seine transportierende Kraft erlahmt. Alle diese Erscheinungen müssen daher in der Wüste local begrenzt sein, sie müssen in benachbarten Thalsystemen sich verschieden verhalten, sogar im Verlauf ein und derselben Thalrinne in ihrem Verhalten wechseln.



Wer diesen Gedanken im Auge behält, wer sich der erwähnten Thatsachen stets erinnert, der wird sich über die sonderbare Vertheilung der Erosionsproducte in den Wüstenthälern nicht wundern, der wird keine der Wüste fremden Kräfte zu Hülfe nehmen, um sich Rechenschaft zu geben über das sonderbare Auftreten der Schottermassen in der Wüste.

Aber es muss noch Eins in Rechnung gezogen werden. Bei uns in einem regenreichen Klima ist die Wirkung der Erosion auch insofern vom fallenden Regen abhängig, als er die Erosionsproducte bilden hilft. Der Regen dringt in die Felsen, löst chemisch und mechanisch den Verband des Gesteins und derselbe Regen trägt die gelockerten Steine zum Thal hinab, und rollt sie in der Thalsohle weiter. Es werden also durch den Regen die Erosionskraft und die Transportkraft geliefert und gleichzeitig die zu transportierenden Massen gebildet. In der Wüste regnet es so selten, dass die Lockerung und Zerkleinerung des Gesteins durch das fallende Wasser in ganz untergeordneter Weise vollzogen wird. Andere Kräfte, welche im Gegensatz zum seltenen Regen, Tag und Nacht, Jahr aus Jahr ein wirksam sind, lockern die Gesteine. Die Verwitterung, die Zerbröckelung des salzhaltigen Gesteins, die Wirkung der Insolation, das sind die Kräfte, welche Gesteinsbrocken bilden, welche das Material liefern, das die Erosion dann übernimmt, die selbst da noch thätig sind, wo die Kraft des fliessenden Wassers erlahmt.

Infolgedessen kann die Kraft des fliessenden Wassers ganz als Transportmittel ausgenutzt werden, an Gesteinsbrocken ist kein Mangel, alle liegen locker aufeinander und erwarten den ersten Regen, der sie leicht davonträgt.

Daraus erklärt sich jene überraschende Wirkung der Erosion in der Wüste. Wir sehen ungeheuere Massen von Erosionsproducten aufgehäuft, und schliessen aus der Analogie europäischer Verhältnisse, dass ungeheuere ungewohnte Erosionskräfte hier thätig gewesen sein müssen, ohne zu bedenken, dass das fliessende Wasser in der Wüste nur die vorhandenen Gesteinsbrocken abrundet und transportiert, und seine ganze Kraft auf diese Leistung concentrieren kann, während bei uns die Kraft des fliessenden Wassers beim Eingraben in den Boden, beim Lockern von Steinen schon zum Theil verbraucht wird und ein anderer bedeutender Antheil durch die

Widerstände verloren geht, welche die Vegetationsdecke fast überall dem fliessenden Wasser entgegensetzt. Bedenken wir aber, dass in der Wüste keine Vegetationsdecke den Boden verhüllt, dass eine Anzahl anderer Kräfte die Gesteine zerkleinern, dass die Erosion nur zu transportieren hat, und auf diese Thätigkeit ihre ganze Leistungsfähigkeit concentrieren kann — so wird uns die seltsame Anhäufung von Flussgeröllen in vielen Uâdis kein Räthsel mehr sein, wir werden nicht mehr Veranlassung haben, zu ihrer Erklärung gewaltige Wasserfluthen, wie sie der Wüste fremd sind, zu Hülfe rufen zu müssen.

Als 1 bis 10 m hohe Mauern sehen wir Schotterterrassen an den Gehängen mancher Wüstenthäler angehäuft, bunt durcheinander gewürfelt liegen s. Fig. 27 faustgrosse und metergrosse Blöcke in einem

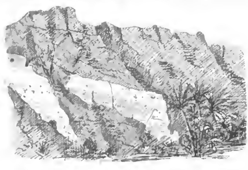


Fig. 51. Schottersedimente an den Gehängen des Uâdi Feirân.

feinsandigen Cäment, bald abgerollt und vollkommen gerundet, bald mit schärferen Kanten versehen. Kein Wunder, wenn manche dieser Schottergebilde als Moränen betrachtet und beschrieben worden sind. Hoch ziehen sie sich an den Thalgehängen empor s. Fig. 51, und wenn wir aus der Analogie europäischer Verhältnisse ihre Bildung erklären wollten, so müssten wir räthselhafte Kräfte annehmen. Und doch ist die Erscheinung einfach und leicht verständlich, wenn wir bedenken, dass wir uns in der Wüste befinden und wenn wir im Auge behalten, dass das Wüstenklima eine Reihe von Erscheinungen im Gefolge hat, die, gewaltig in ihrer Kraftleistung, auf einfache Factoren zurückgeführt werden können. Wir brauchen weder Eis noch Meeresbrandung noch Sintfluthregengüsse anzunehmen — wir

müssen nur sorgfältig studieren, welche Vorgänge sich heute noch in der Wüste abspielen, müssen uns versenken in das mannigfaltige Wechselspiel der wüstenbildenden Kräfte, dann finden wir auch die Lösung des Räthsels. Und endlich müssen wir Folgendes im Auge behalten. Die Schottermassen haben in den Wüstenthälern eine überaus sonderbare Vertheilung. Im oberen Uâdi Feirân bis zum Hügel el Meharret sind sie überall grossartig entwickelt, im Unterlauf des Thales fehlen sie vollkommen. Das Gleiche gilt vom Uâdi Hebrân, und was noch eigenthümlicher ist, benachbarte Wasserläufe haben viel oder gar keine Schotterterrassen. Wenn man diese scheinbar regellose Vertheilung des Schotters richtig würdigt, dann wird man von selbst auf die Vermuthung geleitet, dass die verschiedenen Schottergebilde nicht eine gleichzeitige Wirkung allgemein verbreiteter Ursachen, sondern eine locale, zeitlich begrenzte Wirkung local thätiger Kräfte war, dass mit anderen Worten die Schotter der verschiedenen Thäler nicht gleichzeitige Bildungen sind. Indem wir aber dieses bedenken, dann fühlen wir uns auch nicht verleitet, eine allgemeine »pluviatile Periode«[1]) für die gesammte Wüste anzunehmen, sondern wir erkennen, dass die in verschiedenen Thälern isolierten, zu verschiedenen Zeiten gebildeten, umgelagerten und transportierten Schottermassen keinen Schluss gestatten auf universell gesteigerte Erosionskräfte.

Endlich muss ich eines Factors gedenken, dessen Bedeutung für die Anhäufung von Erosionsproducten ich hier nur andeuten kann, indem ich die Ausführung des Gedankens an einer anderen Stelle versuchen werde. Einen hervorragenden Einfluss auf die Masse eines sich bildenden Sedimentes haben tectonische Bewegungen. Durch Dislocationen werden die Felsen zerklüftet, und der erodierenden und transportierenden Thätigkeit des Wassers eine grössere Zahl von Angriffspunkten geliefert. Ein ebenes Tafelland, welches der Erosion kaum eine Angriffsstelle bietet, wird sofort in erhöhtem Maasse der Erosion zugänglich, wenn es zu einer Falte aufgestaut wird. Erstens steigern sich die Niveaudifferenzen, die nothwendige Voraussetzung jeder Erosion, zweitens wird das Gestein zerklüftet und bis in seine innersten Tiefen der erodierenden Kraft

---

1) Vgl. HULL, The Survey of Western Palestine. Dublin 1886.

zugänglich. Wenn vorher eine Schichtentafel jedes Eindringen des erodierenden Wassers erschwerte, so bilden jetzt eine grosse Anzahl von klaffenden Spalten ebenso viele Angriffspunkte und jeder hervortretende Schichtenkopf ist der Erosion zugänglich. Dadurch wird bei eintretenden tectonischen Bewegungen ohne Veränderung der Stärke der erodierenden Kraft doch eine stärkere Erosionsleistung erzielt, und grössere Massen von Sediment geliefert. Mag dieses Sediment als Gehängeschutt am Fusse des Gebirges liegen bleiben, mag es als Moräne oder Flussschotter im Thal transportiert und aufgehäuft werden, mag es endlich als Sand und Schlamm weit bis ins Meer getragen werden — jede Dislocation steigert die Masse des gelieferten Sedimentes, ohne dass eine Steigerung der sedimentbildenden Kräfte nothwendig sei.

Ich kann diesen, ungemein wichtigen Zusammenhang hier nicht weiter ausführen, aber ich bin überzeugt, dass auch er bei der Erklärung der Wüstenschotter eine Rolle zu spielen habe, und dass somit eine ganze Reihe von Factoren zusammenspielen bei der Bildung jener Geröllager, die in den Thälern der Wüste so auffallend sind und zu so kühnen Speculationen Veranlassung gegeben haben.

An dem Beispiele des Uâdi Feirân habe ich auf S. 74, an dem des Uâdi Mucheired auf S. 60 gezeigt, welche Veränderungen nachweisbar in der Bewässerung der Wüstenthäler eintreten; ich könnte noch manches analoge Beispiel bieten, doch würde ich dadurch diesen Abschnitt allzuweit ausdehnen. Es kam mir nur darauf an zu zeigen, dass kein zwingender Grund vorhanden ist: zur Erklärung der Wüstenphänomene Kräfte einzuführen, welche der gegenwärtigen Wüste fremd sind, und meiner Überzeugung Ausdruck zu geben, dass die Erscheinungen der Gegenwart auch hier die Probleme der Vergangenheit befriedigend zu lösen im Stande sind.

IV. Die Kieswüste.

Wir haben zu zeigen versucht, welche Veränderungen ein ungestörtes, welche ein dislocirtes Gebirgsland erleidet, wenn es sich unter dem Einfluss des Wüstenklimas befindet. Wir sahen, mit welchen Mitteln und auf welchem Wege die wüstenbildenden Kräfte das Felsenland

einzuebnen suchen und welche Reliefformen hierbei gebildet werden. Unsere weitere Aufgabe ist es, diesen Prozess bis zu Ende zu verfolgen, den Denudationsvorgängen nachzuspüren, die meteorologischen Kräfte bei ihrer Thätigkeit zu belauschen und zu verfolgen, wie aus einer felsigen Wüste eine Wüstenebene wird, je nachdem bedeckt mit Kieseln, mit Sand, oder mit salzigem Lehm. Um Wiederholungen zu vermeiden, werde ich unter den Überschriften: Kieswüste, Sandwüste, Lehmwüste jedesmal die bei der Bildung jedes Typus massgebendsten Vorgänge schildern, dabei aber darf nicht übersehen werden, dass die, aus didactischen Gründen, isoliert behandelten Erscheinungen in den mannigfaltigsten Combinationen miteinander vereint auftreten. Erst in dem Schlusscapitel können wir zusammenfassend ein abschliessendes Urtheil abgeben und die jetzt zu schildernden Vorgänge in ihrem Zusammenhang und ihrer Wechselwirkung betrachten.

Wie aus dem früheren Abschnitte hervorgeht, ist es das Ziel aller Denudation in der Wüste, die Oberfläche der letzteren einzuebnen und auf diese Weise eine horizontale Bodenfläche herzustellen. Ist dieses Ziel erreicht, dann verändert sich die Intensität und Wirkungsweise der Denudation, und wenn keine Felsklippen mehr abzurunden, keine Zeugen und Tafelberge mehr niederzureissen sind, dann wird die Denudation regional, sie versucht die gesammte Wüstenoberfläche anzugreifen, und Insolation, Wind und Sandgebläse sind die wichtigsten Factoren, deren Thätigkeit sich dann noch zu äussern vermag. Deshalb, weil diese drei Kräfte am leichtesten in der Kieswüste zu beobachten sind und am typischsten hier auftreten, will ich unter vorstehender Überschrift die Wirkungsart dieser Kräfte in ihrer gemeinsamen Thätigkeit zu schildern versuchen. Die Bildung der schwarzen Schutzrinde und das Problem der versteinerten Hölzer, welche ebenfalls in der Kieswüste häufig beobachtet werden können, sollen in besonderen Abschnitten angeschlossen werden.

Ein Grundgesetz aller Denudationsvorgänge auf der Erdoberfläche ist die Auslese alles dessen, was den specifischen klimatischen Factoren am längsten zu widerstehen vermag. Im wasserreichen Klima ist die chemische Zersetzungsfähigkeit eines Gesteines der massgebende Factor, der seine Erhaltungsfähigkeit bestimmt. Je

weniger die Oberfläche eines Gesteines oder Minerales chemisch angreifbar ist, desto länger ist seine Dauer.

In der Wüste wirkt die Denudation viel mehr physikalisch, und die Zähigkeit und Härte eines Gesteins gegenüber der Insolation ist das massgebende Princip für die grössere und geringere Verbreitung desselben. Nicht ohne Grund sind Quarzsand und Kieselgerölle das verbreitetste Gestein in der Wüste. Auslese des Härteren ist das bestimmende Princip, und in dem Kampf ums Dasein der Gesteine wird Alles von den Kieselgesteinen an Stärke und Dauer übertroffen. Es findet keineswegs in der Wüste eine oberflächliche Verkieselung der Gesteine statt, welche dieselben widerstandsfähiger macht gegen die Angriffe der Sonne und des Windes, sondern jene unzähligen Kieselgerölle, jene Massen von Quarzsand beweisen, dass von allen Mineralien, welche gesteinsbildend in der Wüste auftreten, nur diese beiden ausgelesen und erhalten bleiben, während alles Übrige zerstört und weithin entführt wird. Wenn wir die Oberfläche der Wüste mit verkieselten Austern oder mit harten Nummuliten bedeckt sehen, so müssen wir uns daran erinnern, dass vielleicht hundert Fuss Kalkstein entführt wurden, als deren Denudationsrelict die einst darin verstreut enthaltenen Versteinerungen jetzt vereint nebeneinander liegen.

Wir müssen stets im Auge behalten, dass die Kieswüste aus der Felswüste entsteht und dass bei den denudierenden Vorgängen, die ich im vorausgehenden Abschnitt zu schildern versuchte, als Endproduct eine flachgewellte Ebene entsteht, bedeckt mit denjenigen Resten der einst darüber aufgethürmten Gesteine, welche härter waren als ihre Umgebung. Die Erosion ist gering geworden, denn nicht mehr wird der herabstürzende Regen in enge Wâdischluchten gesammelt, um eine intensive Kraftwirkung ausüben zu können, der gelegentlich fallende Regen vertheilt sich auf wenig gegliederte Ebenen und wird von der Oberfläche derselben bald aufgesogen. Auch die chemische Verwitterung ist kaum merklich, denn nirgends findet sich auf der weiten Hamada eine schattige Stelle, wo jene zu wirken vermöchte. Infolgedessen ist auch der Pflanzenwuchs gering, und somit bleiben von den in der Einleitung charakterisierten Kräften nur Insolation, Deflation und Sandgebläse als denudierende Kräfte der Kieswüste übrig.

Das Verhältniss der Kieswüste zu ihrem Bildungsheerd stellt Schweinfurth in folgender Schilderung klar: »Das Sandkorn, das wir am Eingang eines Wüstenthales auflesen, hat im Laufe der Zeit den meilenweiten Weg vom Kamme des Gebirges bis zur Küste zurückgelegt, nicht so das Basaltstückchen, welches eine unvergleichlich geringere Ortsbewegung aufzuweisen hat. Die isoliert auftretenden Streifen basaltischen Gesteins entsprechen ebenso vielen niederen Höhenzügen, diese zusammen stellen ebenso viele Hügelreihen, Bergketten und schliesslich Gebirgsrücken dar. Je weiter man landeinwärts vordringt, nehmen diese Formationen in dem angedeuteten Sinne an Höhe zu«, und S. 377: »Auf den südlichen Pic der Soturba zugehend, überschritten wir mit grosser Mühe die von immer grösser werdenden Granit- und Gneissgeschieben bedeckte Thalfläche«[1]). Wir erkennen aus dieser Schilderung, dass die Vertheilung der Kiese in der Wüste eine sehr wechselnde ist, und dass man in günstigen Fällen leicht den Zusammenhang dieser Erscheinung mit dem ursprünglichen Bau einer denudierten Felswüste erkennen kann.

Was dem Reisenden dann besonders auffällt ist, dass gewisse Ebenen ganz mit scharfkantigen Steinen bedeckt sind, dass andere mit rundgeschliffenen, glänzend polierten Kieseln übersäet erscheinen. In beiden Fällen liegt meistentheils Quarzsand zwischen den Steinen vertheilt. Den letzteren Typus, den »Sserir« wo die Kieswüste aus runden Geröllen besteht, zwischen denen geringe Mengen von Sand liegen, finden wir am besten in der libyschen Wüste vom Nilthal westlich entwickelt. Aber auch die Nordgehänge des Mokattam, gewisse Gebiete am Sinai und in der arabischen Wüste gehören hierher. Mit scharfeckigen, weniger gerundeten Steinen sind die Hochflächen der »Hamada« bedeckt, welche in allen Theilen Nordafrikas sich findet.

1. Das Sandgebläse.

Fast überall findet der Wüstenwind kleine Gesteinsfragmente, die er zu tragen vermag und die er als Wurfgeschosse gegen jeden Felsen schleudert, der sich ihm in den Weg stellt; deshalb gehören

1) G. Schweinfurth, Zeitschr. f. Allg. Erdkunde 1865, p. 135 u. 373.

die Spuren des Sandschliffes zu den charakteristischen Erscheinungen jeden Wüstengebietes. Welche Wirkung der mit Sand beladene Wind auszuüben vermag, das erkennen wir aus der grossen technischen Verwendung, welche neuerdings das Sandgebläse in der Glasfabrikation gefunden hat, und Thoulet[1]) verdanken wir sorgfältige experimentelle Studien über die Wirkung des Flugsandes. Er erhielt folgende Resultate:

I. L'abrasion[2]) est directement proportionelle à la quantité de poudre produisant cette abrasion.

II. Une roche résiste mieux à l'abrasion quand elle est polie que lorsqu'elle est dépolie.

III. Jusqu'à une certaine limite l'abrasion augmente proportionnellement à la distance qui sépare la plaque usée de l'ouverture par laquelle arrive le jet de sable, mais après cette limite qui est atteinte d'autant plus rapidement que la pression est moindre, l'accroissement de l'abrasion devient nul et nécessairement, même ensuite négatif. Cette loi, sans application dans la nature, peut être utile à connaître dans l'industrie.

IV. Une poussière dont les grains ayant déjà produit une abrasion sur une roche sont arrondis, use désormais moins que lorsque ces grains n'ont pas encore servi et ont conservé l'irrégularité de leur surface.

V. L'action abrasante d'une poudre est d'autant plus puissante que les grains qui constituent celle-ci ont des dimensions plus considérables; cependant l'influence exercée par la dimension des grains est en elle même assez faible.

VI. Le calcaire pulvérulent ne produit aucune abrasion sur les roches quartzeuses; calcaire contre calcaire ou quartz contre quartz donnent lieu à la même abrasion; l'effet maximum est produit par une poussière de quartz choquant une roche calcaire.

VII. L'abrasion est directement proportionnelle à la pression du vent chassant la poudre abrasante.

---

1) Thoulet, Expériences synthétiques sur l'abrasion des roches par le sable. Compt. Rend. Acad. Sc. T. CIV, p. 381. Annales des Mines Mars-Avril 1887.

2) Das Wort Abrasion bezeichnet nach deutschem Sprachgebrauch die Vorgänge der Meeresbrandung; ich habe es aber in dem Citat unverändert gelassen.

VIII. L'abrasion est d'autant plus énergique que la roche sur laquelle elle s'exerce est plus près d'être verticale par rapport à la direction du sable qui la frappe horizontalement et elle diminue très rapidement d'intensité aussitôt que l'inclinaison devient inférieure à 60 degrés.

IX. Pour tout corps solide, il est possible de représenter par un chiffre la valeur absolue de la résistance qu'il oppose à l'abrasion en prenant pour unité la résistance opposée dans les mêmes conditions par une plaque de quartz taillée perpendiculairement à l'axe.

X. Dans les cristaux, l'abrasion, comme toutes les autres propriétés physiques, suit les lois de la symétrie cristalline.

XI. A dureté égale, les roches homogènes ou hétérogènes à éléments très petits résistent mieux à l'abrasion que les roches constituées par des éléments plus gros et de nature plus différente.

XII. Une roche s'abrase plus quand elle est humide que lorsqu'elle est sèche et d'autant plus qu'elle est susceptible d'absorber par porosité une plus grande quantité d'eau.

Kein Gestein ist so gleichmässig gebildet, dass es nicht geringe Härteunterschiede in seinem Gefüge erkennen liesse. Diese ursprünglichen Härteunterschiede bedingen es, dass verschiedene Felstheile so ganz verschieden gestaltet werden.

Betrachten wir einzelne Typen solcher Härtedifferenzen: Ein Porphyr, welcher am Nordende des Arabahgebirges am Ras Djehän mächtige Gänge bildet, enthält porphyrische Feldspathkrystalle, welche weicher sind als die Grundmasse des Gesteins. Infolge dessen erhält das Gestein eine blatternarbige Oberfläche, da alle Feldspäthe vertieft erscheinen.

Die sedimentären Gesteine der ägyptischen Wüsten sind oft aus dünneren Bänken von verschiedener Festigkeit aufgebaut, welche mit einander wechsellagern; eine solche Felswand wird ungemein rasch zerstört, indem die weicheren Schichten herausgeblasen werden (Salzgehalt und Verwitterung helfen hierbei mit), so dass die härteren Bänke weit hervorragen, ihren Halt verlieren und abbrechen. Fig. 9 von Dj. Burbäh (Sinaiküste) zeigt die Erscheinung ganz vortrefflich.

Es kommt auch vor, dass ein Gestein auf den Querbruch ganz homogen erscheint, und dennoch aus verschieden harten übereinander

liegenden Schichten besteht, welche dem Sandgebläse verschieden kräftig wiederstehen und dadurch herausmodelliert werden. Taf. IV, Fig. 1 zeigt ein solches Kalkstück, das auf dem Querbruch nur geringe Andeutung eines schichtenförmigen Baues beobachten lässt, das jedoch diesen Bau vortrefflich erkennen lässt auf der durch Sandgebläse corrodierten Aussenseite, wo die härteren Schichten um ½ cm hervorragen, während weiche Zwischenschichten vertieft erscheinen.

Von ursprünglichen Härteunterschieden wären endlich die Versteinerungen zu nennen, welche oft härter als das umgebende Gestein durch das Sandgebläse herausmodelliert werden. Besonders dann, wenn die Versteinerungen etwas verkieselt sind, werden sie ungemein scharf herausgearbeitet. Das schönste Belegstück für die Wirkungsweise des Sandgebläses giebt Taf. IV, Fig. 2 wieder. Das nummulitenreiche röthliche Kalkstück lag in der dargestellten Lage, mit der Unterseite z. Th. im Sande vergraben und so gegen die herrschende Windrichtung orientiert, dass die rechte Seite dem Winde zugekehrt war. Der Sand wurde demzufolge gegen die rechte Seite des Stückes geblasen, und rollte auf der linken Seite herunter. Die im Kalk enthaltenen Nummuliten sind etwas härter als der dichte Kalk, der sie umhüllte. Daher leisteten sie dem Sandgebläse länger Widerstand, wurden ausgespart, und schützten sogar das hinter ihnen befindliche Kalkgestein vor den Sandprojectilen. Daher sitzen 2—8 mm grosse Nummuliten auf bis zu 3 cm hohen Stielen, gerade wie die Platte eines Gletschertisches auf seinem Eisfuss. Indem aber auf der Leeseite (links) die Sandkörner herabrieselten, schufen sie hier eine mäandrische Furchung der Gesteinsoberfläche, wie sie ungemein charakteristisch ist für viele Wüstensteine und welche das abgebildete Stück in ausgezeichneter Weise erkennen lässt. Bisweilen entstehen infolge verschiedener Härte einzelner Gesteinstheile vielfach durchlöcherte Stücke durch das Sandgebläse. Taf. IV, Fig. 4 stellt ein Stück fossilen Korallenkalkes dar, in dem die härteren Fossilien zwar nicht herausmodelliert wurden, aber doch länger dem Sandgebläse widerstanden und dessen Wirkung beeinflusst haben. Da die Versteinerungen oft härter als das umgebende Gestein sind, so darf es uns nicht Wunder nehmen, wenn wir in der Wüste ganze grosse Flächen mit Fossilien übersäet

finden. Ägypten ist keineswegs fossilreicher als irgend ein anderes Land der Erde, aber auf der Oberfläche der Wüste liegen versammelt alle die Fossilien, welche in weicheren Schichten von grosser Mächtigkeit enthalten, durch Deflation dieser Schichten freigelegt wurden. So lernen wir verstehen, warum wir bald kilometerweit nur Exogyra am Boden liegen sehen, bald ganze Lager von Ammoniten bemerken, bald meilenweit nur über Nummuliten reiten. Die Versteinerungen eines mächtigen Schichtencomplexes werden durch die Denudation in der Wüste auf eine Ebene projieirt, daher ihre Häufigkeit.

Die Erscheinung der sogenannten »versteinerten Wälder« in der

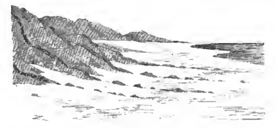


Fig. 52. Porphyrgänge in der südl. Sinaiwüste.

näheren und weiteren Umgebung von Cairo findet in dem besprochenen Vorgang ihre einfache Erklärung. Im fünften Absatz wird dieselbe ausführlich behandelt werden.

Aber auch secundäre Vorgänge erzeugen Härteunterschiede in Gesteinen. Hierher gehört zuerst die Bildung von Gängen. 10 Kilometer westlich von Giseh fand ich 6 mm dicke Quarzplatten, welche vertical aus dem Boden 10—20 cm hervorragten und polygonale Felder umgrenzten. Es waren Quarzgänge im Nummulitenkalk, welche härter als dieser, von der Denudation verschont geblieben waren und aus dem Boden hervorragten.

In grossartigem Massstabe aber beobachtet man diese Erscheinung in der südlichen Sinaihalbinsel, wo viele mächtige Eruptivgänge den Lagergranit durchsetzen und, härter als das Nebengestein, lange Hügelzüge bilden, welche dem Streichen dieser Gänge entsprechen, wie obenstehende Zeichnung s. Fig. 52 wiederzugeben versucht.

Endlich werden Härteunterschiede durch Concretionenbildung

gegeben, und abermals werden solche härtere Concretionen widerstandsfähiger als das Nebengestein. Der Nubische Sandstein enthält grosse Mengen von Eisen- und Mangansalzen, welche ihm oft eine rothe oder braune Farbe ertheilen. Diese Eisensalze finden sich nun oft als Concretionen ausgeschieden und geben hierdurch zu sonderbaren Erscheinungen Anlass.



Fig. 53. Verwitterungsformen des Nubischen Sandsteins im Uâdi Maghâra.

Im Uâdi Maghâra am Sinai, gegen das Uâdi Mokâtteb zu, finden sich solche concretionäre Anhäufungen von Eisenoxydul, welche concentrische Ringe auf der Fläche der Sandsteinfelsen bilden. Diese verschieden gefärbten Ringe sind härter, wittern heraus, und geben dadurch den Sandsteinfelsen, wie beifolgende Skizze s. Fig. 53 wiedergiebt, eine sehr sonderbare Oberfläche.

Ganz ähnliche Ringe von Eisensalz finden sich auch in eocänen Kalken, und sie fallen besonders an dem Kalkstein in die Augen, aus dem der Sphinx gemeiselt ist s. Fig. 54. Hier erscheinen sie an der Brust und am Hals des Kolosses als diagonale Streifen, welche der durch discordante Parallelstructur entstehenden Gliederung so ähnlich sehen, dass O. Fraas[1]) und im Anschluss an ihn Neumayr[2]) diese Zeichnung für discordante Parallelstructur halten. Aber dieselbe hat mit letzterer gar nichts zu thun, denn sobald man die linke Seite des Sphinx betrachtet, erkennt man ohne Mühe, dass jene diagonalen Bäuder nur die Durchschnitte grosser Farbringe sind, welche unbekümmert um die Schichtung des Echinolampas-Kalkes, mehrere Meter im Durchmesser, die Flanken des Colosses bedecken.

Ausser diesen, auf dem Querbruch als Ringe erscheinenden Concretionsgebilden, finden sich solche im Nubischen Sandstein von kleineren Dimensionen und von verschiedener Form in ungeheuerer Menge, und da sie härter als der Sandstein sind, so werden sie herausgeschält und bedecken weite Strecken in der Wüste. So lesen

1) Aus dem Orient, p. 148.

2) Erdgeschichte. Bd. I, p. 472.

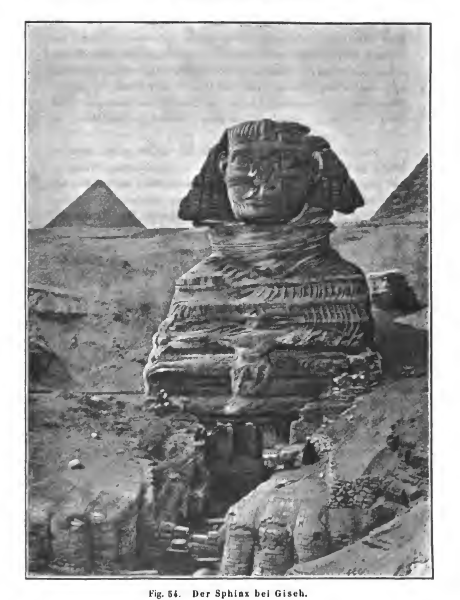


Fig. 54. Der Sphinx bei Giseh.

wir bei ROHLFS[1]): »Südlich von Kauar geht der Weg über 100 Fuss hohe steile Sandketten. Wie immer verlaufen sie meist von W nach O, manchmal mehr nach N, manchmal mehr nach S abweichend. Neben Ammonitenabdrücken finden sich unzählige schwärzliche und glasige Steine, von der Grösse einer Erbse bis zu der einer Faust, die inwendig hohl, manchmal einen feinen weissen Sand einschliessen, meist jedoch ganz leer sind. Eine Öffnung ist nirgends an ihnen wahrzunehmen.«

Ich habe dieselben Mangankugeln im Arabahgebirge weitverbreitet gefunden, von allen Grössen und Formen. Häufig waren sie nur zum Theil aus dem Sandstein herausmodelliert und zeigten auf der einen (Lee-)Seite noch einen Höcker von Sandstein, den sie vor dem Wegblasen geschützt hatten. Bald waren es Hohlkugeln, bald



Fig. 55. Manganconcretionen aus Nubischem Sandstein ausgewittert im Arabahgebirge (Sinaihalbinsel).

zwei Kugeln ineinander; oft von ganz runder, oft von ganz gestreckter Form. Eine Anzahl ragten als Röhren einen Fuss über den Boden heraus, andere Röhren verzweigten sich im Sandsteinfelsen (siehe Fig. 55). Derartige durch Deflation isolierte violett gefärbte Manganconcretionen sind auf Taf. V abgebildet. Fig. 4 ist eine fast runde Kugel, die nur an einer Stelle eine Öffnung besitzt und vollkommen hohl ist. Fig. 6 und 7 zeigen Fragmente langestreckter Concretionen, deren Wand aus mehreren Schalen besteht, zwischen denen noch einzelne gröbere Sandkörner sitzen geblieben sind, während Fig. 5 eine bis auf wenige Löcher geschlossene hohle Kapsel ist.

---

1) PETERMANN, Erg.-Hefte XXV, p. 40.

Ebenso werden die Feuersteinconcretionen aus den Kreidekalken herausmodelliert und bedecken ganze Flächen in der Wüste. »Höchst auffällig[1]), so berichtet die Expedition des Erbgrossherzogs von Oldenburg, und unerklärt war die Erscheinung, dass zwei Tagereisen westlich von Schag rechts und links vom Weg häufig Steinfelder sich ausbreiteten, in denen Kalkstein und Silexdrusen von vollkommen regelmässiger Kugelform und in einem Durchmesser von etwa 2 Fuss ganz genau aufgerichtet und in vollkommen gleichen Abständen wie die Bäume einer sorgfältigen Waldcultur lagen.« So liegen Feuersteinbrode von 2—3 Fuss Durchmesser nach den Schilderungen von Schweinfurth westlich vom Dj. Set, und Ingenieur Michel hat Proben davon im Musenm der Medicinischen Schule zu Cairo niedergelegt.

Kein Gestein ist der Deflation gegenüber so widerstandsfähig als Feuerstein, Kieselkalk, Jaspis und ähnliche Kieselsäuregesteine. Sie finden sich als Versteinerungsmittel, als Concretionen und als Cäment ganzer Schichtenbänke oft in den Sedimenten Ägyptens. Indem nun alles andere Gestein durch die Wüstendenudation zerstört und durch Deflation entfernt wird, bleiben diese Stücke allein übrig, und bilden jene ungeheueren Kiesflächen, die als Sserîr in der libyschen Wüste so weit verbreitet sind.

Der Sserîr ist also nichts weiter als eine durch Deflation eingeebnete Felsmasse, deren einstiger vielvertheilter Gehalt an Kieselgesteinen gesammelt übrig blieb, während alle weicheren Felstheile zerstört und entführt wurden. Wie nach dem Tod eines Wirbelthieres die Weichtheile verfaulen und entfernt werden, während die darin vertheilten Knochen zusammensinken und als Knochenhaufen übrig bleiben, so waren die Kiesel des Sserîr in einer grösseren weichen Felsmasse vertheilt und liegen jetzt gehäuft bei einander, während das sie früher trennende weichere Gestein in alle Winde zerstreut wurde.

In welcher Weise diese »Wüstenkiesel« (fälschlich »Nilkiesel« genannt, da der Nil nur Schlamm führt) zerkleinert werden, das haben wir im nächsten Abschnitt zu betrachten. Zuerst mag ihre

---

1) Petermanns Mitth. Bd. XXI, p. 213.

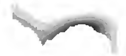
auffallendste Eigenschaft, die Politur und ihre Abrundung besprochen werden.

Der flüchtige Beobachter wird nur runde Kiesel (Taf. V, Fig. 2 stellt eine fast völlig runde Kieselkugel dar, wie sie gelegentlich als Product allseitig wirkenden Sandgebläses entsteht) auf einer Sserirfläche beobachten, und da er gewohnt ist runde Kiesel als Flussgeschiebe oder Brandungsgerölle zu sehen, so wird er auch die Rundung der Wüstenkiesel als ein Product fliessenden Wassers ansehen. Obwohl diese Ansicht in manchem vortrefflichen Wüstenwerk ausgesprochen wird, so bedarf sie für den Kenner der Wüste keiner Widerlegung. Denn eine Wasserfluth, welche die Sserirflächen der libyschen Wüste gleichmässig überspült haben sollte, müsste selbst die kühnste Phantasie übertreffen.

Wo in der Wüste Wasser fliesst, oder geflossen ist, da findet man Gerölle, zwar von runder Gestalt, aber ohne jenen charakteristischen Glanz, oder Firniss s. Taf. V, Fig. 8, der die Sserirgerölle auszeichnet. Zudem sehen wir, dass keineswegs alle Sserirkiesel gerundet sind, dass wie ich unten schildern werde, viele durch Sprünge getheilt sind, und dass an den neuentstandenen Kanten sich neue Rundungsspuren erkennen lassen. »Die grösseren Quarzstücke, welche in vielen Wüstenthälern Kiesel darstellen, bezeugen durch ihre flachen und nicht allseitig abgerundeten Formen eine schleifende Wirkung des vom Winde bewegten Sandes. Während die Kiesel in Flussbetten und die an der Meeresküste durch häufiges Rollen sich nach bestimmten Gesetzen gleichmässig abschleifen, bedingt bei dem äusserst langsam bewegten Wüstenkiesel bloss Lage und vorherrschende Windrichtung seine gleichsam zufällige Gestalt.« Diese Worte SCHWEINFURTH's[1]) treffen die Thatsache am besten. Ich habe früher einmal Gerölle durch Lichtdruck dargestellt[2]), welche erst vom Wasser gerollt, dann durch den Sand zur Hälfte angeschliffen, beide Schliffarten nebeneinander geben, und dort gezeigt, wie grundverschieden beide sind. Der Sandschliff ist fast immer wie gefirnisst, während der Wasserschliff nur im befeuchteten Zustand glänzend erscheint. (Zum

1) Zeitschr. f. Allg. Erdkunde. Berlin 1865, p. 135.

2) Berichte der math.-physik. Classe der Königl. S. Ges. d. Wissensch. Leipzig 1887, 14. November.



Vergleich habe ich, der Curiosität halber, auf Taf. I, Fig. 8 ein Stück eocänen Kalkes dargestellt von einem Saumpfad, der aus dem Uâdi Ashar auf das Plateau der südlichen Galâla hinaufführt. Da dieses der einzige Zugang für die auf dem Plateau gelegenen vegetationsreichen Weideflächen ist, wurden seit undenklichen Zeiten alljährlich viele Kamele auf diesem Saumpfad hinaufgeleitet, deren weiche Sohlen allmählig den harten Kalkfelsen so gerundet haben, dass er in der Sonne spiegelt und als »pseudoglacialer Schliff« betrachtet werden kann.)

Indem tausende solcher vom Sand rund geschliffener Kiesel im Sserîr nebeneinander liegen und den Boden bedecken, erhält die ganze Sserîrlandschaft einen eigenthümlichen Glanz, sie sieht aus als ob der Wüstenboden mit Firniss oder mit Fett überstrichen wäre, und die bläulichen Lichter auf den dunkelbraunen Kiesflächen geben ungemein malerische Farbeneffecte (vgl. Fig. 73, 74).

Der feine Flugsand, der die Kiesel gerundet hat und alle (s. u.) frisch entstehenden Kanten aufs Neue rundet, liegt überall zwischen den Kieseln, und wer Gelegenheit gehabt hat bei starkem Wind über eine Sserîrfläche zu reisen, der hat sich leicht überzeugen können von der schleifenden Thätigkeit dieses Sandes. Dann ist der ganze Boden lebendig, überall kriecht der Sand mit schlangenartigen Windungen über die Kiesflächen, so dass das Auge, rasch ermüdet von der schlängelnden Bewegung der Sandstreifen, nicht lange das Schauspiel zu betrachten vermag. Wie Wasser in einem seichten Flussbett, so winden sich die kleinen Sandgerinne zwischen den Kieseln hindurch, bald vereinigen sich zwei Ströme, bald gabeln sie sich, wenn Widerstände ihnen entgegen treten. Und auf diesen letzteren Vorgang muss eine Erscheinung zurückgeführt werden, welche grösseres Aufsehen erregt hat, als sie verdiente, das so viel discutierte Problem der »Dreikanter«-Bildung.

Es war meines Wissens am 5. April 1876, dass G. Berendt zum erstenmal die Aufmerksamkeit der norddeutschen Geologen auf eigenthümliche Facetten aufmerksam machte, welche an Geröllen im Diluvium bemerkbar sind. Seit dieser Zeit haben diese sogenannten »Dreikanter« oder Kantengerölle die Geologen interessiert und eine grosse Literatur ist über diese Erscheinung geschrieben worden. Man hielt sie für eine Wirkung des Eises, grossen Druckes etc., bis

MICKWITZ in seiner Abhandlung die richtige Lösung der Frage gab, indem er nachwies, dass diese Facetten nur eine Sandschlifferscheinung seien, eine Ansicht, die inzwischen von CREDNER, HEIM, SAUER u. A. nur bestätigt worden ist. Nur über die Art, wie diese Flächen angeschliffen werden, gehen die Ansichten noch auseinander. Ich habe eine Anzahl solcher Kantengerölle[1]) in verschiedenen Theilen der Wüste gesammelt; zuerst fand ich sie im Uâdi Arabah in der arabischen Wüste, dann zwischen Giseh und Abu Roâsch am Rande der libyschen Wüste, und Dr. Dr. SARASIN haben sie auf der Sinaihalbinsel gefunden.

Nach diesen meinen Erfahrungen sind es Kalke der Kreideformation von feinem, dichtem, sehr gleichmässigem Korn, welche in Ägypten »Dreikanter« bilden; andere Gesteine habe ich nicht in dieser Form gefunden. Die eocänen Kalke mögen zu weich, die Nummulitengesteine zu ungleichmässig hart sein, und die krystallinischen Gesteine werden, wie ich im Folgenden zu schildern habe, in der Wüste so rasch zersetzt, dass sie sich für »Dreikanter«-Bildung nicht eignen.

Die Zahl der angeschliffenen Kanten wechselt ebenso sehr wie die Grösse der Gerölle, und beides steht in keinem ursächlichen Verhältniss. Ich fand fussgrosse Einkanter und nussgrosse Fünfkanter und umgekehrt.

Die Kanten sind von verschiedener Schärfe und ich glaube beobachtet zu haben, dass die Kanten nur dadurch entstehen, dass zwei angeschliffene Flächen sich schneiden, so dass der Ausdruck Facettengerölle mir richtiger zu sein scheint als Kantengerölle.

Auf Taf. IV, Fig. 5 ist ein grosser »Dreikanter« dargestellt, während Taf. IV, Fig. 3 sodann Taf. V, Fig. 1. 3. 9 kleinere Dreikanter zeigen. Besonderes Gewicht möchte ich jedoch auf das Taf. IV, Fig. 6 dargestellte Stück legen, das zwar Facetten, aber keine Kanten besitzt und welches zeigt, dass die Facette das Ursprüngliche, die Kante das Secundäre ist, entstanden durch zwei sich schneidende Facetten.

Einen Zusammenhang zwischen der Richtung der Kanten und

---

1) Berichte der math.-physik. Classe der Königl. S. Ges. d. Wissensch. Leipzig, Nov. 1887.

der Windrichtung konnte nicht finden, und Solches scheint mir auch leicht begreiflich, da ich constante Winde nicht beobachtet habe, und da die Richtung des Windes in der Wüste oft jede Stunde wechselt.

Dagegen habe ich Facettengerölle nie isoliert gefunden, sondern stets verstreut zwischen ziemlich nahe bei einander liegenden Wüstenkieseln. Beistehende Zeichnungen Fig. 56 u. 57 geben die Lage von Facettengeröllen unter anderen Steinen wieder. Ich habe bei Sandwind die Bewegung des Sandes zwischen solchen Kieseln öfters beobachtet und hierbei folgende Anschauung über die Bildung der Facetten gewonnen:

Der Sand fliesst in kleinen Strömen über den Boden hin und die auf dem Boden liegenden Kiesel bilden ebenso viele Hindernisse und Widerstände für die kleinen Sandgerinne. Vor einem grösseren



Fig. 56. Situation eines Dreikanters und eines Einkanters bei el Gaà.

Fig. 57. Situation eines Vierkanters bei el Gaà.

Kiesel theilt sich der Sandstrom, um sich oft hinter dem Hinderniss wieder zu vereinigen, oft laufen die getheilten Stromäste eine Strecke isoliert weiter, um dann wieder mit anderen benachbarten zusammen zu laufen. Infolge dieser Gabelung und Wiedervereinigung kleiner Sandströme, hervorgerufen durch die am Boden liegenden Steine, werden solche Steine, auf welche convergierend zwei Sandströme stossen, mit zwei Facetten versehen, deren jede durch einen Sandstrom gebildet wurde. Indem sich diese Facetten immer mehr vergrössern, kommen sie endlich zum gegenseitigen Schneiden und bilden dadurch eine Kante. Gerölle, welche constant durch ähnliche Sandströme bespült werden, erhalten scharfe Kanten, wechselt aber die Richtung der Sandströme, so werden die Kanten und Flächen undeutlich und wieder verwischt.

Mit anderen Worten: es werden an die Gerölle Flächen angeschliffen, deren Vergrösserung Kanten bildet; und deshalb scheint mir das Wort Facettengerölle den Vorgang ihrer Bildung am besten zum Ausdruck zu bringen, denn die Kante ist secundär.

2. Die Insolation.

Gleichzeitig mit der Abrundung der Wüstenkiesel durch den Sandwind vollzieht sich in den Gebieten der Kieswüste ein zweiter Vorgang, der jenem entgegenarbeitet und seine Wirkung aufzuheben sucht. Infolge der starken Erwärmung der Steine bilden sich Sprünge in denselben, welche immer tiefer dringend, endlich den Stein zersprengen und in scharfkantige Stücke theilen. Es ist leicht verständlich, dass die Abrundung durch den Sand einerseits und das Zerspringen durch die Sonne andererseits, ein Gestein mehr beeinflusst, als das andere. Feuersteine werden leicht rund geschliffen, zerspringen in eigenthümlich kreisrunde Scheiben und behalten nicht lange ihre scharfen Kanten; Sandstein und Kalk wird leicht zersprengt, aber der Sand kann nur die entstehenden Kanten runden, nicht den Stein rund schleifen.

Infolge des verschiedenen Widerstandes, den bestimmte Gesteine je nachdem der Insolation oder dem Sandgebläse entgegensetzen, entstehen in der Kieswüste jene verschiedenen Typen in der Form und Bildung der den Boden bedeckenden Steine. Bei dem Sserīr überwiegt die Abrundung durch den Sand, bei der Hamada überwiegt die Bildung scharfkantiger Sprengstücke. »Die abwetzende Wirkung[1]) von den Winden angespülten Sandes scheint zwischen Kossēr und Suakin ohne Einfluss zu sein oder wenigstens langsamer zur Geltung zu kommen, wie sich neue Risse bilden. Und die stets scharfkantigen Gestalten selbst der kleinsten Gesteinstrümmer von Basalt beweist, wie gering auch die Wirkung zufälliger Regengüsse ist.« »Durch[2]) abwechselnde Hitze und Kälte werden die schwarzberindeten Sandsteine zerkleinert in scharfkantige Stücke, welche die Hamada von Tripolis bedecken.«

1) G. SCHWEINFURTH. Zeitsch. f. Allg. Erdkunde. Berlin 1865, p. 135.
2) VON BARY, Zeitschr. d. Vereins f. Erdkunde zu Berlin 1876, p. 164.

Im Uâdi Ssannūr[1]) fand Dr. Schweinfurth in grosser Menge jene Art Kieselsplitter, wie sie zwar von Menschenhand häufig benutzt, doch nie verfertigt sein können. Auch die dazu gehörigen Kerne, von welchen sich durch Temperaturverzerrung die prismatisch-stengeligen, planconvexen Stücke abtrennten, fanden sich daselbst in entsprechender Anzahl vor. Die erstaunliche Menge, in welcher derartige Splitter stellenweise weite Strecken in den ödesten Theilen der Libyschen und Arabischen Wüste bedecken, schliesst allein schon die Möglichkeit der Annahme von Artefacten aus (im Uâdi Ssannūr finden sich aber auch wirkliche Feuersteinbrüche, und rings herum ist Alles mit künstlich behauenem Flint bedeckt).

Aber auch aus anderen Theilen der Erde wird uns dasselbe Phänomen berichtet. So erzählt Livingstone[2]): »Am Abend nach einem heissen Tag war es sehr gewöhnlich, diese Basaltmassen zersplittern und unter einander fallen zu hören mit dem eigenthümlich klingenden Ton, der das Volk glauben macht, das Gestein enthalte viel Eisen. Mehrere grosse Massen, welche so durch Einwirkung der Kälte auf die von der Hitze des Tages ausgedehnten Theile zersprungen waren, sind die Abhänge der Hügel hinabgeglitten und, sich gegeneinander lehnend, haben sie Höhlen gebildet.«

»Die Gesteinsmasse der kahlen Felsengebirge von Persien, welche tagsüber einer bedeutenden Sonnengluth ohne jeden vegetativen Schutz ausgesetzt sind, und die des Nachts wiederum dem Einfluss kühlerer Temperaturen unterworfen werden, bekommen infolge der wechselnden Ausdehnung und Contraction Risse, Sprünge und Klüfte, es lösen sich grössere und kleinere Gesteinsbrocken von den hervortretenden Schichtenköpfen oder Gesteinsplatten ab, kurz es bildet sich hier wie anderwärts Gebirgsschutt, der sich in einer steten Bewegung abwärts befindet, welcher die wenig zahlreichen Regenniederschläge oder Schneeschmelze zu Hilfe kommen.[3]) «

Wir lesen[4]), dass in Brasilien Steine durch die Sonnenhitze

---

1) Güssfeld u. Schweinfurth, Petermanns Mitth. XXII, p. 262.
2) E. Behm, Südafrica im Jahre 1858. Petermanns Mitth. 1858, p. 177.
3) Tietze, Zeitschr. des Ver. f. Erdkunde. Wien 1886, p. 517.
4) Ausland 1867, p. 1221.

zersprengt werden, und dass »in der Atacama[1]) nur wenig sandige Stellen sind. Der Boden ist mit seltenen Ausnahmen steinig und kiesig, und zwar sind die Steine so scharfkantig, dass die Guanacojäger genöthigt sind, ihren Hunden Schuhe anzuziehen, weil sie sich sonst schnell die Füsse wund laufen. Sehr häufig sind Chalcedon und Jaspis auf der Oberfläche.«

Ebenso schildern VATONNE und DUVEYRIER das Zerspringen der Steine in der westlichen Sahara.

O. FRAAS[2]) erzählt: »Es war in der Frühe kurz nach Sonnenaufgang, als die Sonne anfing ihren Einfluss auf den Boden geltend zu machen, dass ich an einem hart vor meinen Füssen liegenden Feuerstein eine halbzöllige kreisrunde Schale ausspringen sah und einen entsprechenden Ton dabei hörte.« So interessant und werthvoll diese Beobachtung ist, so gehört sie doch sicherlich zu den Seltenheiten, denn weder hat SCHWEINFURTH auf seinen vielen Wüstenreisen etwas Ähnliches gesehen, noch ist es mir gelungen, bei 70 Tagen Aufenthalt in der Wüste und 40 ohne Zelt campierten Nächten, dieses plötzliche Zerspringen zu beobachten. In der Regel scheinen die Sprünge sich langsam und allmählich zu bilden, denn bei aufmerksamem Suchen findet man nicht selten »halbgesprungene« Gerölle. Von den von mir gesammelten Stücken sind allerdings mehrere später durch eine leise Erschütterung ganz durchgebrochen, einige aber (Quarz, Porphyr, Feuerstein) bewahre ich jetzt noch mit unvollendetem Sprung in meiner Sammlung und habe die besten photographisch dargestellt. Wie ich früher schon erwähnt habe, lassen sich zwei Sprungarten unterscheiden: peripherische und radiale; beide können auch zusammen combiniert auftreten.

Auf Taf. I, Fig. 1. 2. 3 sind halbgesprungene Wüstenkiesel dargestellt. Fig. 1 ist ein Stück gelblichen Quarzes; der gerade Sprung geht etwa bis zur Mitte desselben, Fig. 2 ein Kalkgerölle, zeigte einen mehrfach gebogenen Sprung, längs dessen das Stück später ganz zerfallen ist; Fig. 3 ist ein Porphyrgeröll; der Sprung geht bis zur Mitte und setzt sich aus zwei Sprüngen zusammen, deren übereinandergreifende Enden auf der abgebildeten Fläche leicht zu erkennen sind.

1) Dr. PHILIPPI, Petermanns Mitth. II, p. 63.

2) Aus dem Orient, p. 38.

Wenn halbzersprungene Kiesel zu den Seltenheiten gehören, so sind dafür solche Stücke ziemlich häufig, bei denen ein durchgehender Sprung zwei oder mehr scharfkantige Stücke gebildet hat, die neben einander liegen und oft noch ganz vollkommen an einander passen. Auf Taf. II, Fig. 8 ist ein Kieselstück dargestellt, welches durch einen meridionalen Sprung getheilt ist, Fig. 7 zeigt ebenfalls die beiden Hälften eines Wüstenkiesels und Fig. 6 bringt einen solchen zur Darstellung, welcher in drei verschiedene Stücke zerlegt wurde.

Feuerstein und ähnliche Kieselgesteine werden durch Insolation in der Weise deformiert, dass kreisrunde Scheiben von verschiedener Grösse aus denselben herausspringen. Taf. II, Fig. 2 ist eine ziemlich grosse derartige Scheibe, ihrerseits mit den Sprungnarben kleinerer Sprünge bedeckt; auch Taf. II, Fig. 1. 3. 4. 5 zeigen solche kreisförmige Sprünge.

Das auf Taf. V, Fig. 8 dargestellte Stück zeigt ähnliche runde Sprünge, nur sind dieselben gegenseitig zum Schneiden gekommen, wobei der runde Umriss weniger deutlich erkennbar wird. Zugleich ist an diesem Bild und Taf. VIII, Fig. 2 der eigenthümliche Firniss oder Speckglanz der Kiesel in der Kieswüste recht gut zu sehen.



Fig. 58. Zersprungener Porphyrblock im Sande der Gaâwüste.

Von der Wichtigkeit dieses Vorgangs kann man sich eine Vorstellung machen, wenn man metergrosse Porphyrblöcke s. Fig. 58 im Sand der Gaâwüste liegen sieht, welche ganz von Sprüngen durchsetzt sind, so dass der Umriss des Blockes nur durch den umgebenden Sand zusammengehalten wird, und die Einzelstücke sofort auseinander fallen, wenn der Sand seine Lage verändert. Ganze Porphyrgänge zerfallen zu scharfkantigen Steinhaufen wie

beistehendes Vollbild Fig. 59 aus dem Uâdi Feirân erkennen lässt.

Bei Kalksteinblöcken sieht man häufig unvollkommene Sprünge, wie Fig. 60 zeigt.



Fig. 59. Durch Insolation zerstörter Porphyrgang im Granit des Uâdi Feirân.

Ist das so zerkleinerte, scharfkantige Gestein geeignet, durch Sandgebläse gerundet zu werden, dann bleiben die scharfen Kanten nicht lange, und das Wechselspiel beider Vorgänge erzeugt eine

grosse Mannigfaltigkeit der Erscheinungen. Wir lesen darüber bei STAPFF:

»Die[1]) Gerölle der Kieswüste bei Walfischbay sind nicht durch Wasser abgerollt. Auffällig erscheint die glasurähnliche Politur vieler Gerölle, offenbar eine Wirkung des vom Wind auf sie geblasenen Sandes, welchem wohl der Schutt überhaupt seine Abrundung verdankt. Die Gerölle selbst verändern ihre Lage nur wenig, wurden aber vom windgepeitschten Sand umspielt, poliert, zu sehr verschiedenem Grade abgerundet, viele sogar angefressen.«



Fig. 60. Zersprungener Kalkblock im Uâdi Ashar.

Da sich der Sand fast überall in der Wüste findet, und viele Gesteine leicht gerundet werden, so darf man sich nicht wundern, wenn man mehr gerundete als scharfkantige Gerölle im Sserîr findet. Will man das andere Extrem studieren, so gehe man in eine Hammada, wo der Mangel des schleifenden Sandes, oder die Sprödigkeit des Gesteins mehr scharfe Kanten als gerundete Flächen erzeugt. Beides sind Kieswüsten, beide entstanden unter denselben klimatischen Bedingungen, aber die Verschiedenheit der Gesteine, die den wüstenbildenden Kräften unterworfen wurden, erzeugte jenen scheinbar so verschiedenen landschaftlichen Charakter.

3. Die braune Schutzrinde.

Ebenso charakteristisch wie die Spur des Sandgebläses ist jene braune oberflächliche Färbung, welche viele Steine und Felsen in der Wüste zeigen. Die hellbraune, dunkelbraune bis schwarze Farbe findet sich auf Kalk ebenso wie auf Kieselgesteinen, sie bildet sich in einer relativ kurzen Zeit, und muss als eine echte Wüstenerscheinung betrachtet werden. Die braune Rinde ist keine Verwitterungserscheinung, denn die mit ihr bedeckten Felsen sind härter und widerstandsfähiger als benachbarte Felsen ohne Rinde, deshalb wähle ich den Namen »Schutzrinde« für dieselbe.

Ich will gleich vorausschicken, dass ich mir ein sicheres Urtheil

1) STAPFF, Verhandlungen d. Ver. f. Erdkunde. Berlin 1887, p. 48.

über den Bildungsvorgang nicht haben bilden können, ich habe möglichst viele Thatsachen gesammelt, und hoffe dadurch Denjenigen vorgearbeitet haben, die glücklicher als ich, das Problem zu lösen vermögen.

Es scheint mir, dass man gewisse schwarze Rinden, die sich an den Ufern tropischer Flüsse bilden, nicht mit den hier zu besprechenden Rinden der Wüste vereinigen darf, jedenfalls lässt sich beweisen, dass letztere gänzlich ohne Mitwirkung von Tropenklima und fliessendem Wasser entstehen. Über diese tropischen Rinden lesen wir bei RUSSEGGER[1]: »Die Aussenseite der Granitfelsen an den Katarakten von Assuan hat einen ganz dünnen, dunkelschwarzen, stark glänzenden Überzug, der ihnen das Ansehen giebt, als wenn sie gepecht wären. Dieser Überzug ist so dünn und mit der Masse des Gesteins so verflossen, dass er davon nicht getrennt werden kann. Besonders deutlich ist der Überzug an den Felsen nahe dem Wasser.«

PECHUEL-LÖSCHE[2]) schreibt: »An den vom Hochwasser berührten Stellen ist das Ufergestein des Kuilu ganz blauschwarz geworden, ebenso an der Wand von Bumina und an den Pallisaden.«

WISSMANN[3]) schildert dieselbe Erscheinung: »Der Quige fliesst in einem nur wenig eingeschnittenen Sandsteinbett nach Westen dem Quanza zu. Gewaltige, mit schwarzer Verwitterungskruste bedeckte harte Sandsteinblöcke erschienen einem früheren Reisenden als Basalt.«

Ähnliche Verhältnisse schildert HUMBOLDT von Südamerika[4]).

(Eine ganz ähnliche Rinde beobachtete ich auf Gneissfelsen in dem Dschungel verschiedener Theile von Ceylon. Die aus regenerierten Urwald, oder aus Theeplantagen aufragenden Felsen waren überall mit einer intensiv schwarzen Rinde bedeckt, welche als ganz dünner Überzug der Oberfläche anhaftete. So auffallend war mir diese Schwärzung, dass ich begann Handstücke zu sammeln, als sich endlich das Räthsel in ungeahnter Weise löste. Es ergab sich nämlich, dass diese schwarzen Rinden aus Kohlenruss bestanden, der beim

1) RUSSEGGER, Reisen, Bd. II, p. 321.
2) Das Kuilugebiet, Petermanns Mitth. XXIII, p. 12.
3) Unter deutscher Flagge quer durch Africa. 1889. p. 15.
4) A. VON HUMBOLDT, Reisen. IV, p. 217.

Abbrennen des Urwaldes behufs Anlegung von Plantagen sich auf den Felsen niedergeschlagen hatte.)

Die hier zu behandelnden »braunen Schutzrinden« haben sich überall in der Wüste gebildet, und bilden sich noch gegenwärtig an Orten, welche nie von fliessendem Wasser bespült worden sind. Die Felsquadern auf dem Gipfel der Cheopspyramide zeigen die beginnende Bräunung ebenso wie die Blöcke in den weiten Hallen der Steinbrüche von Turra, aus deren Material die Pyramiden von Giseh erbaut wurden. Und zwar findet man die braune Rinde auf Flächen, welche noch heute die Spuren der altägyptischen Meisselhiebe tragen; in beiden Fällen ist eine Mitwirkung von Wasser ausgeschlossen. Taf. VI, Fig. 1 ist ein Stück eines Quaders aus den altägyptischen Steinbrüchen von Turra, welche das Material für den Pyramidenbau lieferten. Auf dem Querbruch ist die weisse Farbe des Kalkes, auf der Oberfläche sind die Meisselspuren der alten Ägypter zu sehen. Diese Oberfläche jedoch ist seit jener Zeit mit einer deutlichen braunen Rinde überzogen. Fig. 8 derselben Tafel stammt aus einer der Quadern auf der Spitze der Cheopspyramide, und lässt oberflächlich dieselbe Bräunung eines, auf dem Bruch vollkommen weissen Gesteins erkennen.

Wenn also beide Erscheinungen in ihrer Wirkung gleichmässig sind, so haben sie doch grundverschiedene Ursachen und dürfen nicht miteinander verwechselt werden.

Lernen wir zuerst die Verbreituug der Schutzrinden kennen. Russegger's[1]) Beschreibung ist nicht sehr deutlich gehalten: »Wie in ganz Nubien, so ist auch im Lande der Scheikie der Sandstein häufig bedeckt von einer vollkommen zu einem Schlackenglase geschmolzenen Schicht des Eisensandsteins, der sehr schwer verwittert und dessen schwarze Trümmer alle Gehänge bedecken.« Besser schildert Overweg die Erscheinung: »Zwischen[2]) dem Wadi el Hessi und dem W. Schiati (südlich der tripolitanischen Hammada) ist eine Region pechschwarzer Felsen. Das Gestein ist ein Sandstein, theils durchdrungen von Eisenerz und dann ganz schwarz oder braun, theils schneeweiss und nur an der der Luft ausgesetzten Oberfläche mit

1) Russegger, Neues Jahrbuch f. Min. 1838, p. 630

2) Overweg, Zeitschr. d. deutsch. geol. Gesellsch. 1851, p. 101.

einer dünnen glänzenden Kruste versehen. Der ganze Charakter dieser Gegend stimmt vortrefflich mit dem, was HORNEMANN vom Harudsch el Aswad und LYON, OUDNEY, DENHAM von den Sudah-Bergen angeben. Auch in Sokna finden sich dieselben weissen, äusserlich geschwärzten Sandsteine, die häufig nur auf der Oberseite schwarz, aber auf der Unterseite weiss sind.

»Die schwarzen Berge bei Sokna[1]) bestehen aus gelbem Sandstein mit Eisen schwarz gefärbt, sie schillern im Sonnenschein stark ins Bläuliche und es finden sich bisweilen mitten im Schwarz grosse kreisrunde Flecken von Gelb und Braun. — Die Gegend des Tibbulandes ist fürchterlich. Auf 600 Meilen nicht die geringste Spur von Vegetation, Alles Sand und schwarze Sandsteinfelsen. — Schwarz sind alle Felsen in der Sahara und im Tibbulande, aber nicht vulkanischen Ursprunges, Alles ist mit Eisen gefärbter Sandstein.«

Auf[2]) dem Plateau des Azgar (nördlich von Ghât) ist die ganze Landschaft dunkelgefärbt durch den von der Sonne geschwärzten Sandstein.

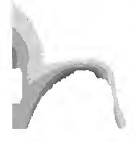
Im Süden[3]) der tripolitanischen Hammada sind röthlichgelbe Sandsteine häufig, welche von einer zolldicken (?) Kruste von Brauneisenstein schalenförmig umhüllt sind. Diese Rinde ist härter als das Gestein darunter und löst sich stets in ihrer ganzen Dicke ab, das gelbe Gestein nun blosslegend. Theile dieser schwarzen Schale haften dem Felsen oft noch an, und lassen so die frühere Oberfläche desselben erkennen.

Das Gebirge[4]) Tümmo besteht aus an der Oberfläche geschwärztem Sandstein, wie die schwarzen Berge des Had und Sokna.

Die Ebenen[5]) Arabiens sind mit schwarzem Geröll übersäet, die im Norden Harra, in Südarabien Feiseh (pl. Fujûseh) genannt werden.

Aus der californischen Wüste berichtet WHEELER[6]): »Merkwürdig ist, dass oft auf weite Strecken hin Felsen und Geröll an der Oberseite schwarz gefärbt sind, gerade wie mit einem schwarzen Firniss

1) E. VOGEL, Petermanns Mitth. 1855, I, p. 244. 253. 256.
2) BU DERBA, Zeitschr. f. Allg. Erdkunde. Berlin 1860, p. 177.
3) VON BARY, Zeitschr. d. Vereins f. Erdkunde. Berlin 1876, p. 164.
4) G. ROHLFS, Petermanns Ergänz.-Hefte XXV, p. 18.
5) GLASER, Zeitschr. d. Vereins f. Erdkunde. Wien 1887, p. 24.
6) Petermanns Mitth. XXII, p. 337.



überzogen. Ich hatte von Anfang an keinen Zweifel, dass dieser dünne Überzug aus Mangansuperoxyd besteht, was auch die Analyse bestätigte. (In einigen Fällen fand ich das Mangan von Eisen und Spuren von Nickel begleitet.) Häufig, ja fast in der Regel bemerkt man beim Auflesen eines schwarz gefärbten Steines, dass die Unterseite roth ist, was auf einen Einfluss des Lichtes in der Entwicklung des Peroxydes hindeutet. Ferner scheint der Mangangehalt der Felsarten selbst in vielen Fällen dabei betheiligt zu sein, denn gerade die Granite, die einen amethystfarbenen Quarz als Gemengtheil haben, zeigen den schwarzen Überzug am meisten.«

Eine Analyse einer solchen Kruste auf Nubischem Sandstein der libyschen Wüste veröffentlichte v. Zittel[1]) nach den Angaben Wingard's. Derselbe fand Eisenoxyd zu 36%, Manganoxydul zu 30% und andere Gemengtheile in geringerer Menge, wie aus seinem Protokoll hervorgeht:

Manganoxydul	30,57
Sauerstoff	4,04
Baryumoxyd	4,89
Thonerde	8,91
Eisenoxyd	36,86
Kieselerde	8,44
Wasser	5,90
Posphorsäure	0,25
	99,86

Die oben angeführten Literaturangaben zeigen, welche universelle Verbreitung die Schutzrinde in der Wüste hat; jetzt haben wir das Auftreten derselben im Einzelnen zu besprechen. In der Felswüste wie in der Kieswüste beobachtet man die Schutzrinde, am anstehenden Fels wie an freiliegenden Blöcken, und zwar hat die Eigenfarbe des Gesteins keinen Einfluss auf die Intensität der Färbung der Schutzrinde. Rothbraune Sandsteine werden ebenso braun wie weisse Sandsteinbänke, gelbe Kalke ebenso wie weisser Feuerstein. Nur das lässt sich durchgehends beobachten, dass die Farbe desto dunkler ist, je mehr Kieselsäure das Gestein enthält. Kalk ist

1) Zittel, Beiträge zur Geologie und Paläontologie der lybischen Wüste. Palaeontographica. Bd. XXX, p. 59.

im allgemeinen weniger braun gefärbt als Sandstein, Jaspis oder Flint; gewisse Kreidekalke färben sich fast gar nicht, tertiärer Korallendolomit vom Dj. Hamām Mûsa mit 6,88% $O\,Si_2$ ist dunkelbraun geworden.

Ja es scheint sogar, dass nur eine gewisse Modification der Kieselsäure sich für die Bräunung eignet, denn die bekannten weissen Verwitterungsrinden von Feuerstein, die durch Wasserverlust aus dem wasserhaltigen Chalcedon entstehen, färben sich nicht braun oder schwarz.

Im Allgemeinen finden wir also Kalk hell bis dunkelgelb, Sandstein, Dolomit dunkelbraun, manchen Granit, Jaspis, Feuerstein schwarz gefärbt, und es gewährt einen ungemein seltsamen Anblick, eine mit schwarzbraunen, fettglänzenden Kieseln bedeckte Sserīrfläche oder eine dunkelbraune Sandsteinwand zu sehen, an welcher die natürliche hellgelbe Farbe des Gesteines überall da erscheint, wo sie verwittert oder durch Sandgebläse angefressen wird. An freiliegenden Blöcken und Geröllen s. Taf. VI, Fig. 2 bemerkt man sodann regelmässig, dass die besonnte Oberseite dunkler gefärbt ist, als die beschattete Unterseite, ja ich habe Quarzgerölle gesehen, welche zur Hälfte aus einer Bank des Nubischen Sandsteines (am Dj. Nakûs) herausragten und die soweit gebräunt waren, als sie dem Lichte zugänglich waren, während ihre im Gestein verborgene Oberfläche keinerlei Färbung erkennen liess.

Gewöhnlich sind die Gesteine (soweit sie nicht beschattet sind) gleichmässig gefärbt, allein es kommen sehr lehrreiche Ausnahmen von dieser Regel weitverbreitet vor. Wenn Versteinerungen in einem Kalk enthalten sind, so werden dieselben oft viel dunkler gefärbt, als die Gesteinsmasse, und besonders sind es Nummuliten, die in gewissen Kalken stark gebräunt auf gelblichem Grunde erscheinen. Keineswegs liegt es an den Nummuliten als solchen, denn die Nummuliten an den Pyramiden von Giseh findet man ohne braune Färbung, und ebensowenig am Mokkatam oder in gewissen eocänen Kalkgebieten der arabischen Wüste und der Sinaihalbinsel. An anderen Orten aber ist der Boden ganz bedeckt mit bräunlichen Kalkbrocken, auf denen schwarzbraune Nummuliten in grosser Menge erscheinen. Besonders ausgezeichnet beobachtet man Solches im Uâdi Dugla am Fusse der S. 69 erwähnten Rampe s. Fig. 99, gegenüber der Lyciumschlucht. Man kann sich leicht überzeugen, dass auch hier eine dünne Farbschicht

auf den Nummuliten liegt, dass sie im Bruch ebenso weiss erscheinen wie der oberflächlich gebräunte Kalk, der sie umschliesst.

Taf. VI, Fig. 4, 5, 6, 7 habe ich solche Nummulitenkalke dargestellt, deren Fossilien stark gebräunt erscheinen, Fig. 7 ist aus dem Uâdi Ashar (südl. Galâla), die übrigen vom Uâdi Dugla bei Cairo. Die kleinen Nummuliten sind zugleich aus dem Gestein durch Deflation herausmodelliert und sitzen z. Th. wie ein Gletschertisch auf einem 1—2 mm hohen Stiel. Der untere Nummulit auf Fig. 4 ist von seinem Stielchen losgebrochen; ich habe ihn umgekehrt darauf gelegt um zu zeigen, dass die Nummuliten im Innern des Gesteins ganz weiss sind und von der Unterfläche nur soviel geschwärzt wurde, als randlich über den Stiel herausragte; diese Zone erscheint als schwarzer Ring.

Taf. VI, Fig. 3 ist ein Stück Feuerstein, das an den frisch erzeugten drei Bruchflächen hellgrau ist, auf der Oberfläche aber fast schwarz geworden ist; die Unterseite ist nur kaffeebraun gefärbt, und alle auf der weissen senonen Kreide, östlich vom Kloster St. Anton herumliegenden derartigen Flintscheiben zeigen stets dieselbe Erscheinung. Fig. 2 derselben Tafel ist ein Quarzgeröll, welches auf seiner oberen besonnten Seite etwas geschwärzt, auf der Unterseite aber vollkommen ungefärbt ist.

Ganz vortreffliche Beispiele bietet das Uâdi Ashar in der südlichen Galâla, wo grosse und kleine schwarzbraune Nummuliten auf hellem Kalke erscheinen, und oft bietet die Anordnung dieser schwarzbraunen Nummuliten interessante Thatsachen. So beobachtete ich eine Wand, an der die Nummuliten, wie beistehende Zeichnung s. Fig. 61 erkennen lässt, zu Kreisen angeordnet waren, die 10—15 cm grosse runde Nummuliten-freie Flächen umschlossen. Ich vermuthe, dass dieser Kalk aus Lithothamnium ähnlichen Algenknollen zusammengesetzt wurde, zwischen denen ein mit Nummuliten durchsetzter Kalksand in allen Lücken abgelagert war. Von der Algenstructur ist nichts mehr zu erkennen, nur die einstigen Umrisse der (?) Algenknollen treten jetzt hervor.



Fig. 61. Nummulitenkalk im Uâdi Ashar.

Aber nicht nur Nummuliten werden in der Wüste derartig

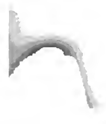
gebräunt, auch andere Fossilien erleiden lokal dieselbe Veränderung. Gryphaea vesicularis, schwarzbraun gefärbt, entnahm ich einem hellen Kreidekalk über der Quelle Ayin Marchâ; Exogyra, Echinodemenreste Radiolites oder Actaeonella, u. a. fand ich ebenso gebräunt vor. Immer aber sind es bestimmte Localitäten, an denen die Fossilien derartig verändert erscheinen.

Sicher ist endlich, dass die gebräunten Felspartien härter und widerstandsfähiger sind, als die nicht gefärbten; aber ich vermag in einzelnen Fällen nicht zu entscheiden, ob solches eine Ursache oder Wirkung der braunen Schutzrinde ist. Ich vermuthe das letztere, und bei den Rinden der Sandsteinfelsen lässt es sich durch den Hammer beweisen.

Endlich habe ich schon erwähnt, dass die Bildung der braunen Schutzrinde bis in die Gegenwart fortdauert, dass die Felsen von Turra im Laufe von 4000 Jahren die Bräunung erlitten haben, und dass sogar die Quadern auf der Pyramidenspitze Anfänge dieser Erscheinung zeigen. Ziehen wir aus allen diesen Thatsachen die Summe, so ergeben sich folgende Resultate:

Die braune Schutzrinde ist eine Erscheinung, bedingt durch das Wüstenklima. Sie ist abhängig erstens von der Besonnung, zweitens von einem gewissen Kieselsäuregehalt des Gesteins, und die färbenden Mangan- und Eisentheile stammen nicht aus dem gefärbten Gestein. (Denn wenn das letztere der Fall wäre, so müssten mangan- und eissenreiche Gesteine allein gebräunt werden, während ein schneeweisser Sandstein oder Kalk oder Flint unmöglich sich färben könnte.) Endlich scheint es sicher zu sein, dass die Mangansuperoxydrinde nicht unter dem Einfluss wässriger Lösung gebildet wird, denn sie entsteht gerade da am besten, wo Wasser nie oder selten hingelangt (und dass sich ähnliche Rinden am Ufer tropischer Flüsse bilden, ist ohne Bedeutung für dieses in der wasserlosen Wüste so weit verbreitete Phänomen).

Ich will hier nicht den Vermuthungen Ausdruck verleihen, die ich über die Bildung der Schutzrinde hege, ich will nur darauf hinweisen, dass die intensive Hitze der Wüstenluft wohl imstande sein kann, die Hülfe lösenden Wassers zu ersetzen, und dass der Thonstaub, welcher die Wüstenluft so oft erfüllt und der vom Wind gegen alle Felsen getrieben wird, Mangan und Eisen enthalten kann, um die färbenden



Metallsalze zu bilden. Doch vermeide ich die Frage weiter zu discutiren, es liegt hier ein chemisches Problem verborgen, das einer besonderen Untersuchung harrt.

Die neuerdings veröffentlichten Untersuchungen Sickenberger's[1]) zeigen, welche räthselhaften chemischen Vorgänge in dem Wüstenklima Aegyptens vor sich gehen, indem dort nachgewiesen wurde, »dass der kohlensaure Kalkstaub unter dem Einfluss des grossen und raschen, dem Klima eigenen Temperaturwechsels, gleichwie unter directer Besonnung, die in dem langen Sommer oftmals Erhitzung bis 90° C. bewirkt, etwas Kohlensäure verliert, jedenfalls genug um auf die amorphe Kieselerde bei Gegenwart von Wasser einzuwirken, wie gebrannter Kalk auf krystallisirten Kieselsand, die Bildung von kieselsaurem Kalk bewirkend«. Ich glaube, dass die weiteren Untersuchungen Dr. Sickenberger's auch das Räthsel der Bildung der braunen Schutzrinde seiner Lösung entgegenführen werden.

4. Die Säulengänge und Pilzfelsen.

Die für den Beobachter sonderbarste und um es gleich auszusprechen, am schwersten verständliche Erscheinung in der Wüste sind jene von regelmässigen Fenstern durchbrochenen Felswände, welche ich als »Säulengänge« bezeichnen will. Der räthselhafte Vorgang der oberflächlichen Verhärtung der Felsen, den ich in dem vorhergehenden Abschnitte geschildert habe, verbindet sich mit dem Vorgang einer theilweisen späteren Entfernung der Schutzrinde, um eine überaus sonderbare und problematische Erscheinung hervorzurufen.

Es ist mir nicht gelungen, in der Literatur genaue Beschreibungen dieser Säulengänge zu finden, vielleicht habe ich die Schilderungen der Autoren nicht zu verstehen vermocht; aber ich habe die Säulengänge auf meiner Reise oftmals beobachtet. Professor Schweinfurth stellt ihre weite Verbreitung in der Arabischen Wüste fest, und nach mündlichen Mittheilungen des Freiherrn von Meckel, welcher die östliche Sinaihalbinsel und die syrische Wüste kennen gelernt hat, treten die Säulengänge auch dort auf. Er verglich sie mit den

1) Zeitschrift der deutsch. geol. Gesellschaft. Berlin 1889, p. 311.

Tunnelgallerien der Axenstrasse; thatsächlich lässt sich die Erscheinung am besten mit einem Tunnel vergleichen, welcher im Innern einer Felswand dahinziehend durch rundliche Lücken mit der Aussenwelt in Verbindung steht. Ich habe am Sinai am Dj. Nakûs s. Fig. 62 Säulengänge gesehen, deren Gang etwa 30 cm hoch, deren Fenster 20 cm hoch und 5—10 cm breit waren, ich habe solche im Uâdi Omm Ruthi s. Fig. 63 auf der südlichen Galâla beobachtet, deren Tunnel 1 m hoch, ½ m breit, deren Fenster 80 cm hoch und 30—40 cm breit waren. In oft regelmässigen Abständen durchbrechen diese Fenster die Felswand, um sich zu einem gemeinsamen Gang hinter der Felsrinde zu verbinden, und mit Unterbrechungen lassen sich diese Säulengänge an langen Felsbänken verfolgen.

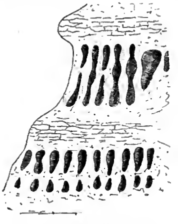


Fig. 62. Säulengänge im Sandstein des Dj. Nakûs.



Fig. 63. Ausgehöhlte Kalkfelsen im Uâdi Omm Ruthi (südliche Galâla).

Die Säulengänge finden sich am Dj. Nakûs im Nubischen Sandstein, auf der südlichen Galâla im Nummulitenkalk und im Uâdi Ashar s. Fig. 64 fand ich sie sogar in der Wand einer Schotterterrasse eingesenkt. Nur im Granit habe ich sie nicht gesehen, wenn man nicht die Höhlen, welche schichtenweise im Lagergranit vertheilt sind (s. o. Fig. 6), als eine Art Säulengänge in statu nascendi auffassen will. Die Schilderung der Säulengänge gehört eigentlich in den Abschnitt Felswüste, aber da sie im engen Zusammenhange mit

der Schutzrinde zu stehen scheinen, so will ich sie im Anschluss an diese hier behandeln.

Wir sahen in dem vorhergehenden Abschnitt, dass die Bildung der braunen Schutzrinde eine oberflächliche Verhärtung der Felsen erzeugt, die sich dem Sandgebläse und der Verwitterung gegenüber als sehr widerstandsfähig erweist. Durch einen mir nicht verständlichen Vorgang (vielleicht durch gelegentlich an der Wand herabrieselndes Regenwasser) werden verticale Streifen von dieser braunen oder gelben Schutzrinde losgelöst und die Wüstenkräfte beginnen bald sich dort in den Felsen hineinzufressen. Ob hierbei mehr die Verwitterung im Schatten, ob mehr das Sandgebläse wirksam ist, kann ich nicht sagen. Jedenfalls entstehen auf diesem Wege (Übergänge habe ich beobachtet) immer tiefer werdende senkrechte Mulden, welche sich bald seitlich im Innern des Felsens erweitern s. Fig. 65 u. 66. Indem diese Erweiterung immer bedeutender wird, vereinigen sich die be-

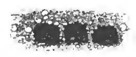


Fig. 64. Säulengang im Schotter an den Gehängen des Uâdi Ashar.



Fig. 65. Ausgehöhlte Sandsteinfelsen im Uâdi Hascheb.

nachbarten Höhlen hinter den stehenbleibenden gebräunten Säulen und bilden allmählich einen Gang, der durch eine Reihe von Löchern mit der Aussenwelt in Verbindung steht und sich hinter einer Reihe von Säulen im Felsen entlang zieht. Beifolgende Zeichnung s. Fig. 62 giebt eine solche von Löchern durchbrochene Sandsteinwand vom Dj. Nakûs wieder, etwas unregelmässiger sind die Löcher auf der anderen Fig. 65 vom Uâdi Hascheb. Ganz hohe Sandsteinwände sind Kilometerlang von solchen Höhlen und Gängen unterminirt, und zeigen alle Stadien der Bildung und des Verfalls. Die Gänge sind oft nur einen Fuss hoch, bisweilen aber so geräumig, dass ein Mensch im Innern gebückt gehen könnte, und lustig sieht es aus, wenn eine fusslange Wüsteneidechse bald aus dem einen, bald aus dem andern

Fenster herausschaut, um dann wieder in dem inneren Gang zu verschwinden.

Die Vermuthung, dass diese Gebilde künstlich von Menschenhand gemacht seien, ist ganz ausgeschlossen.

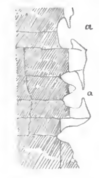


Fig. 66. Durchschuitt durch eine Säulengallerie in Uâdi Hascheb.



Fig. 67. Zerstörte Säulengalerie am Dj. Nakûs (die Säule ist punktiert gezeichnet).

Im Innern des Ganges findet starke Verwitterung im Schatten statt und indem sich der Gang allseitig immer mehr erweitert,



Fig. 68. Pilzfelsen im Uâdi Tarfeh 15 km östlich von Mattai nach einer Tuschzeichnung von G. SCHWEINFURTH.

durchbricht er von Innen heraus endlich auch die Säulen, dann sieht man ein Stadium (s. Fig. 67), wo der Gang halbgeöffnet oben und

unten eine Reihe zapfenartiger Fortsätze trägt, deren (punktirt gezeichneter) ursprünglicher Zusammenhang ganz klar vor Augen liegt. Spalten, die das Gestein durchziehen, können diesen Zerstörungsprozess sehr beschleunigen, indem ganze Felswände abbrechen, wie obenstehende Fig. 66 erkennen lässt. Bei a sind solche halbgeöffnete Gänge im Verticalschnitt dargestellt. Sobald die

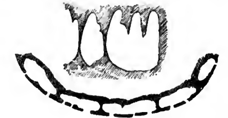


Fig. 69. Aussenfläche und Durchschnitt eines Pilzfelsens nach G. Schweinfurth.

nicht schraffirte Felspartie sich ablöst, brechen alle Säulengänge auf und nur ihre Rückseite ist im Gestein noch erkennbar. Das Uâdi Hascheb bietet eine grosse Fülle derartiger Vorkommnisse. Wie hier und am Dj. Nakûs im Sandstein, so fand ich dieselben Säulengänge



Fig. 70. Durch Deflation isolierter Sandsteinpfeiler im Arabahgebirge.

im Uâdi Omm Ruthi s. Fig. 63 auf der Höhe der südlichen Galâla im eocänen dichten Kalk, nur dass hier die Eingänge weniger zahlreich und breiter, die Gänge dahinter geräumiger waren. Sehr überraschend aber war es mir, ganz ähnliche, wenn auch viel kleinere Bildungen in einer Schotterterrasse am linken Ufer des Uâdi Ashar s. Fig. 64 kurz vor dessen Austritt aus der südlichen Galâla zu finden.

Das lehrt uns, dass die Erscheinung keineswegs abhängig ist von der Zusammensetzung des Gesteins, sondern dass sie mehr mit klimatischen Bedingungen zusammenhängt. Ich habe Eingangs schon die Bildungsweise erläutert, wie man sie direct beobachten kann; über die Ursachen, weshalb so locale Durchbrechungen der Schutzrinde



Fig. 71. Pilzfelsen aus der Oase Ghara genannt »die Säule des Pharao« nach einer Photographie von L. B. Robecchi.

erfolgen, die dann in ihrer Weitervertiefung Anlass zu den Gängen geben, kann ich keine Beobachtungen anführen.

Auf Taf. I, Fig. 6 ist ein Kalkstück zur Darstellung gekommen, welches ausgehöhlt ist ohne Bildung einer schwarzen Rinde, und



das uns zeigt, dass die Bildung der letzteren keine bestimmende Rolle bei der Bildung hohler Gesteine spielt. Es stammt von einer Felswand bei Turra und ist mit 1 cm tiefen Höhlungen durchzogen, die durch Verwitterung einen Schatten auf die soeben beschriebene Art entstanden sind.

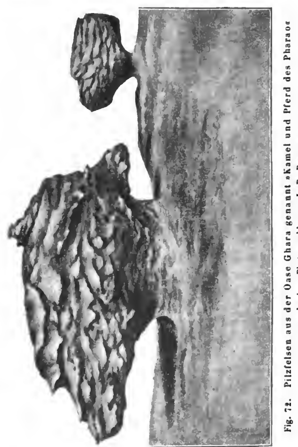


Fig. 72. Pilzfelsen aus der Oase Ghara genannt »Kamel und Pferd des Pharao« nach einer Photographie von L. B. ROBECCHI.

Nahe verwandt mit den Säulengalerien und auf ähnliche Ursachen zurückzuführen ist die Bildung der sonderbaren Felsgebilde, die ich als »Pilzfelsen« bezeichne s. Fig. 68, 69, 71, 72. In der Literatur habe ich

wenig darüber gefunden, nur der treffliche Beobachter VON BARY[1]) giebt folgende Schilderung: »In Tásili sind Felsen häufig, deren Form und Gestalt Pilzschwämmen ähnlich sieht, indem ein mächtiger Block nur auf schlanker Basis ruht, über die er mit ausgehöhltem Rande weit hinausragt. An einer Stelle finden sich drei dieser Steintische dicht neben einander. Gegenwärtig ist keine Spur eines früheren Flussbettes dort vorhanden.« Auch DUVEYRIER erwähnt[2]) ähnliche Bildungen und bildet die Blocs de Takarâhet ab, unter deren überhängendem Rande ein Reiter Platz hat.

Isolierte Blöcke von grösseren Dimensionen bilden sich in der Wüste auf zweierlei Weise: entweder sind es von einer Felswand herabgebrochene Stücke, oder sie sind bei der Deflation in situ isoliert, wie man das auf obenstehender Figur 70 aus dem Arabagebirge mit Deutlichkeit erkennen kann. Solche isolierte Blöcke werden nun leicht, sofern sich ihr Gestein dazu eignet, von der braunen Schutzrinde umgeben, wenigstens auf ihrer oberen Hälfte. Der Fuss wird durch Sandgebläse und Verwitterung allmählich corrodiert und verkleinert, während die Oberseite durch die Schutzrinde widerstandsfähig geworden ist. Ein ähnlicher Vorgang, wie bei der Bildung der Säulengänge, durchlöchert bisweilen auch hier die schützende Rinde, und hier wie dort beginnen die Wüstenkräfte sich hineinzubohren. Auf diese Weise entstehen Pilzfelsen mit weit überhängendem ausgezacktem Rand, wie ich sie oft s. Fig. 8 beobachtet habe, aber nirgends so schön, wie sie obenstehende Zeichnung G. SCHWEINFURTH's wiedergiebt aus dem unteren Uâdi Tarfeh 12—15 Kilometer östlich von Mattai. Die pilzähnlichen Kalkstücke, welche durch Deflation aus einer grösseren Felsmasse herausmodelliert worden sind, haben etwa 5 m Höhe und ebensoviel Breite. Fast einen Meter breit ragt der gebräunte Hut über einen weissen Stiel hervor, und mit zackigem Rande hebt sich die braune oberflächliche Rinde von der weissen Farbe des Kalkgesteines ab. Hohe Schuttkegel am Fusse des Felsen legen Zeugniss ab von den intensiven Denudationsprozessen, welche gewirkt haben, um eine so sonderbar gebildete Felsenform zu erzeugen. Nicht weniger seltsam ist die Gestalt der drei

1) Zeitschr. d. Vereins f. Erdkunde zu Berlin. 1876, p. 178.
2) Les Touareg du Nord, p. 35 u. 57.



Pilzfelsen, welche auf Fig. 71 u. 72 nach Photographien des Ingenieur's Robecchi (die ich der Güte des Herrn Professor Schweinfurth verdanke) dargestellt sind. Sie finden sich in der Oase Ghara und sind unter den Namen »Säule des Pharao« und »Kamel und Pferd des Pharao« bekannt. Ich will damit die Behandlung der sonderbaren Gebilde, die im Gefolge der braunen Schutzrinde entstehen, abschliessen; manch anderes ähnliches Phänomen der Wüste konnte hier nicht ausführlich behandelt werden, denn alles dies sind geologisch untergeordnete Erscheinungen, entstanden durch ein verwickeltes Zusammenwirken verschiedenartiger Bedingungen.

5. Das versteinerte Holz.

Als eine Begleiterscheinung der Kieswüste darf man das verkieselte Holz betrachten, welches in vielen Theilen der ägyptischen Wüsten beobachtet wurde, und dessen berühmtestes Vorkommen auf dem Ostflügel des Mokkatamgebirges ist, nördlich vom Uâdi Dugla, am Dj. Chaschab, dem »grossen versteinerten Wald« der Reisenden. Hier sieht man s. Fig. 73 u. 74 zwischen sandgerundeten braunen Kieseln, auf hügeligem Boden eine grosse Anzahl von kleinen und grossen Bruchstücken der Nicolia aegyptica herumliegen und oft liegen diese Holzscheite noch so weit in Zusammenhang, dass man die Länge der Stämme zu 25—27 m bestimmen kann. Die Sonne hat die Stämme zersprengt und in einzelne Scheite zerlegt.

Das Holz ist mikroskopisch wohlerhalten und ist von einer Reihe von Forschern untersucht worden. Russegger[1]) glaubte allerdings, dass das fossile Holz der Wüste eine Art Concretion sei. »Der Sandstein von Cherery ist auch voll jener eigenthümlichen kieseligen Concretionen von äusserlich holzähnlichem Ansehn, die man häufig als versteinertes Holz der Wüste benennen hört und die wir bereits aus den Kreidegebilden des nördlichen Afrika kennen.« Dagegen haben später Trémeau[2]), Unger[3]), Schenk u. A. es ausser Zweifel

1) Neues Jahrbuch für Mineralogie, 1838, p. 625.

2) Trémeau, Voyage dans le Soudan.

3) Unger, Sitzungsber. d. K. Acad. d. Wissensch. Math.-phys. Classe. Wien 1859, p. 209.



gestellt, dass verkieseltes Pflanzengewebe vorliegt. Unger beschreibt sogar schmarotzende Mycelien von Nyctomyces entoxylinus im Parenchym des Holzes. Die erste mikroskopische Untersuchung des



Fig. 73. Nicolienstamm am grossen versteinerten Wald bei Cairo nach einer Photographie von Dr. Sarasin.

fossilen Holzes aus Ägypten wurde von W. Nicol[1]) gemacht, welcher es von Vere Monro erhalten hatte.

1) James, Edinb. n. phil. Journ. 1835, XVIII, p. 335.

Wurzeln und Aeste werden nicht gefunden, dagegen besitze ich selbst Stücke, in denen Astansätze ganz deutlich erkennbar sind. Auch Rindenstücke werden nicht beobachtet, wenn man nicht eigen-



Fig. 74. Nicolienstamm am grossen versteinerten Wald bei Cairo nach einer Photographie von Dr. Sarasin.

thümliche mit Warzen bedeckte Stücke als Reste der Rinde ansprechen darf. Taf. VIII, Fig. 6 ist ein solches warzenbedecktes Stück, das vom grossen versteinerten Wald stammt. Da ähnliche

Stücke dort nicht selten sind, glaube ich, dass eine organische Bildung vorliegt, vielleicht ein Abguss der Rinde. oder der Oberfläche des Holzkörpers.

Die Hölzer liegen zusammen mit Stücken einer Kieselbreccie, deren Fragmente bald rund, bald eckig durch speckig glänzende Kieselmasse verkittet ist, und die als ein Gestein ähnlich dem des Dj. Achmar bei Cairo erkannt wird. Sowohl der Sandstein des Dj. Achmar, wie der des versteinerten Waldes liegen über dem Eocän.

Man hat solche junge Sandsteine zusammen mit versteinertem Holz in verschiedenen Gebieten der Ägyptischen Wüsten gefunden und die Gleichzeitigkeit dieser Bildungen wahrscheinlich gemacht.

Bekanntlich findet sich unterhalb der ägyptischen Kreide eine mächtige Ablagerung von Sandstein, der sogenannte Nubische Sandstein, in welchem ebenfalls versteinertes Holz gefunden wird. Die mikroskopische Structur dieses Holzes zeigt grosse Ähnlichkeit mit der des nacheocänen Holzes, allein mit Recht hat Schweinfurth[1]) die Identität beider Hölzer bezweifelt. »Die fraglichen Hölzer mögen der Familie der Sterculiaceen zugerechnet sein, aber erst muss der Beweis geliefert werden, dass zwei verschiedene Arten derselben wirklich auch verschiedene Merkmale ihrer Holzstructur zu erkennen geben müssen, bevor ich der Annahme beipflichten möchte, die versteinerten Hölzer von Cairo, die der grossen Oase und die von Magdala in Abessinien stammten alle von ein und derselben Art, blos weil sich in ihrem Holzbau keine Unterschiede nachweisen liessen. Dass ein Repräsentant der Sterculiaceen bereits in den älteren Formationen gelebt haben kann, ist nicht unwahrscheinlich, diese Pflanzenordnung besitzt in ihren Merkmalen eine scharfausgeprägte Individualität und ist einer unendlichen Reihe von Combinationen derselben fähig. Dagegen erscheint der Formenkreis dieser Ordnung in der Gegenwart weit zu arm und zu eng, um nicht ein Vorhergehen vielgegliederter Entwickelungsreihen als wahrscheinlich erscheinen zu lassen.«

Wenn wir also das Problem kritisch betrachten, so muss Folgendes festgestellt werden:

---

1) Zeitschr. der deutsch. geol. Gesellsch. 1882, p. 139.



Versteinertes Holz findet sich in Ägypten in vorcretaceischen und in nacheocänen Ablagerungen, beide von einander getrennt durch die über 1000 m mächtigen Sedimente von Kreide und Eocän. Eine Identität beider Holzarten ist nicht nachgewiesen.

Demzufolge glaube ich auch beide Erscheinungen trennen zu sollen, um so mehr als die Einbettungsmasse der vorcretaceischen Hölzer, der Nubische Sandstein, ganz andere Eigenschaften besitzt als der Sandstein des Dj. Achmar, in welchem die tertiären Hölzer liegen. Wir haben zwei ganz verschiedene Sedimente verschiedenen Alters, beide durch den Gehalt an fossilem Holz ausgezeichnet, aber beide Thatsachen stehen in keinem causalen Zusammenhang und es lässt sich nicht beweisen, dass die tertiären Hölzer ursprünglich im Nubischen Sandstein gelegen haben und erst secundär ins Neogen gekommen sind.

So müssen wir das bisher einheitlich behandelte Problem in zwei Probleme gliedern, wir müssen zuerst die Entstehung der Hölzer im Nubischen Sandstein discutieren, und dann ganz unabhängig hiervon die Hölzer des Neogen besprechen.

Die verkieselten Hölzer des Nubischen Sandsteins, welche Zittel sammelte, gehören nach den Bestimmungen Schenk's[1]) zu Palmacites Zitteli, Dadoxylon Aegyptiacum, Nicolia aegyptica und einer anderen Dicotylen. Die Baumstämme, z. Th. von ansehnlichen Dimensionen, finden sich am häufigsten in den weicheren Lagen des Nubischen Sandsteins. Sie wittern leicht aus, so dass Trümmer von verschiedener Grösse in Menge auf dem Sandsteinplateau zwischen Dachel und Regenfeld herumliegen. Westlich von Dachel kommen sie mit obercretaceischen Haifischzähnen auch noch in den marinen Mergeln der oberen Kreide vor.

»Der[2]) Nummulitenkalk verwittert zu losem Staub und Sand, während seine, grösstentheils aus Kieselerde bestehenden Einschlüsse nicht verwittern, sondern an Ort und Stelle liegen bleiben, während die heftigen Wüstenwinde den Staub und Sand hier wegführen, dort anhäufen, damit manche Gegend weit und breit herum bedecken,

1) Über den geol. Bau der Lybischen Wüste. Festrede, Acad. d. Wissensch. München 20. März 1880, p. 29.

2) Russegger, Neues Jahrbuch f. Mineralogie, 1836, p. 690.

an manchen Stellen aber wieder das Gestein entblösen, so dass die Verwitterung aufs Neue beginnt. So können diese Feuersteine, Karniole, das fossile Holz u. dergl. durch Jahrtausende liegen bleiben und vermehren sich zum Theil ihrer Anzahl nach durch die fortschreitende Verwitterung.«

Ich fand im Uâdi Arabah, in dem Nubischen Sandstein, etwa 50 m über dem Kohlenkalk Stämme von fossilem Holz eingeschlossen und in demselben Niveau am Abhang der nördlichen Galâla. Auf Grund mikroskopischer Untersuchung dieser Hölzer urtheilte Prof. SCHENK[1]): »So lange keine anderen Reste, namentlich Früchte, Samen, Blätter, vorliegen, kann aus dem Holz nichts über das Alter der Schichten festgestellt werden, denn diese Hölzer gehören zu der Kategorie derjenigen Coniferen, deren Textur den Araucarien entspricht. Durch Tüpfel der Tracheiden, die mehrreihig sind, unterscheiden sie sich von den von UNGER beschriebenen; Araucarioxylon aber d. h. Coniferen mit Araucarienstructur im Holz ist von den ältesten Schichten bis zum Tertiär verbreitet. In den älteren Formationen sind bisher nur Hölzer gefunden worden, die Araucarienstructur zeigen, trotzdem sie zu verschiedenen Coniferengattungen gerechnet werden, die man nach den Zapfen etc. unterscheidet.«

Das Sediment, welches diese Hölzer einschliesst, scheint mir eine Dünenbildung des Festlandes zu sein, marine Fossilien fehlen in den Bänken, die Hölzer sprechen ebenfalls für Festland und die Diagonalschichtung (s. u.) der Sandsteine ist ein weiterer Beweis dafür. Unsere Aufgabe ist es demnach zu suchen, ob in recenten Flugsandbildungen ähnliche Einschlüsse vorkommen.

Versteinerte Wurzeln von Tamarix gallica fand VOGEL[2]) in grosser Menge in Sandhügeln zwischen Mursuq und Mafun.

»An der oberen Grenze der kurischen Nehrung[3]) kämpfen Vegetation und Dünensand einen ungleichen Kampf. Der Wald duldend, ausharrend, soweit die Lebenskraft reicht, der fliegende Sand unaufhörlich angreifend, bis ein Stamm nach dem andern erliegt. Zuerst wird dem Vorposten die alte Rinde, der Panzer, stückweise abgerieben; Bäume, die in dieses Stadium getreten sind, haben in

1) Brief an G. SCHWEINFURTH 1888.

2) Petermanns Mitth. 1856, p. 169.

3) J. SCHUMANN, Neue Preuss. Provinzialblätter III. 1. 1859.

ihrem hellbraunen Unterkleid zwar ein frisches Aussehen, doch sind sie bereits dem Tode geweiht. Denn bald werden auch die Blätter der jungen Rinde abgerissen, und dadurch die Lebensschicht des Baumes zu Tage gelegt. Der Baum stirbt ab und verliert beim ersten Sturme den Wipfel, oder er bricht wohl auch nahe an der Wurzel ab. Beim Vorrücken der Düne wird der Stumpf allmählich verschüttet. (Auf der Haffseite werden die Bäume begraben und sterben dann erst ab, wobei die Rinde am längsten dauert und Röhren bildet, in die man versinken kann.) Tritt der todte Baum auf der Nordseite der Düne wieder heraus, so wird das verrottete Holz ganz zu Atomen verweht, nur feste Stämme halten Stand.«

Nach v. Wrede[1]) finden sich in geringer Entfernung der Sandberge vom Uâdi Mayfaah (Hadramaut) einige Sandhügel, welche bereits zu einem lockeren Sandstein umgewandelt sind; in ihnen stehen mehrere, theils abgestorbene, theils noch grünende Bäume, welche letztere aber auch schon kümmerlich ihr Dasein fristen.

Ich glaube, dass die eben betrachteten Thatsachen das Räthsel der Hölzer im Nubischen Sandstein erklären, und dass wir in diesen somit Baumstämme zu erblicken haben, welche beim Wandern der Dünen in die Sandmasse gekommen sind, ihrer Äste und Rinden beraubt wurden, abknickten und später von schwachen Kiesellösungen durchtränkt wurden, die in dem Sande circulierten. Inwieweit hierbei ein ursprünglich organisch ausgeschiedener Kieselsäuregehalt des Pflanzengewebes mitwirkte, den Krukenberg[2]) annahm, entzieht sich der Beobachtung.

Wenden wir uns jetzt dem anderen Hölzerproblem zu, und untersuchen wir die versteinerten Hölzer des jüngeren Tertiärs, welche wir in Ägypten beobachten. Auch diese finden sich in einem Sandstein, aber dieser Sandstein hat wesentlich andere Eigenschaften, als der vorher beschriebene. Auf die Gleichzeitigkeit der Holzeinbettung und der Bildung der Djebel Achmargesteine hat Schweinfurth[3]) hingewiesen:

»Die Masse des Dj. Achmar ist nicht homogen, sondern grosse

1) Zeitschr. des Vereins für Erdkunde. Berlin 1872, p. 233.
2) Chemische Untersuchungen zur wissensch. Medicin, 2. Heft, p. 221.
3) Zeitschr. der deutsch. geol. Gesellsch. 1882, p. 142.

Strecken eines gleichartigen glasigen, feinkörnigen Sandsteines wechseln ab mit solchen, deren Partikel einen nur losen Verband zeigen, ja mit losem Sand selbst. Eine Stratenbildung ist nirgends zu erkennen, die Richtung der Gliederung ist vielmehr eine perpendicu-

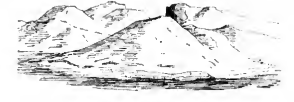


Fig. 75. Djebel Achmar bei Cairo (von Westen).

läre. Dieser Umstand hat bei der fortgesetzten Ausbeutung des vorzüglichen Gesteins zu technischen Zwecken, zu einer Verwirrung der ganzen Bergmasse geführt, indem nur die guten Stellen ausgebaut wurden und so der Gebel-el-Achmar unregelmässig durchfurcht und angehauen wurde, riesige Schutthalden sich bildeten und zur Verdeckung des Anstehenden und zur Verundeutlichung des geologischen Bestandes beitrugen. So ist es gekommen, dass dieser berühmte Hügel (bereits in Märchen von 1001 Nacht erwähnt), den die Natur ursprünglich als härteren, verkieselten Kern durch Erosion (Deflation!) herausgeschält hat, in Gestalt (s. Fig. 75) einer isolierten Kuppe



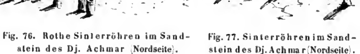


Fig. 76. Rothe Sinterröhren im Sandstein des Dj. Achmar (Nordseite).

Fig. 77. Sinterröhren im Sandstein des Dj. Achmar (Nordseite).

erscheint und durch diese Gestalt zu der Vorstellung eines vulkanischen Ursprungs beigetragen hat.«

Auf Taf. VIII, Fig. 1, 3 sind solche conglomeratische Sandsteine vom grossen versteinerten Wald dargestellt. Fig. 1 ist besonders interessant, denn es enthält eingebacken in ein sandiges Bindemittel,

ein gesprungenes Geröll, welches in seinem Habitus so übereinstimmt mit den auf Taf. I, Fig. 2. Taf. II, Fig. 6, 7, 8 dargestellten Geröllen aus der Kieswüste, dass ich in jenem Sprung einen Beweis für die Annahme erblicke, dass die Stämme des versteinerten Waldes unter einem Wüstenklima in den umgebenden conglomeratischen Sandstein eingebettet wurden.

Schweinfurth nahm an, dass dieser Hügel eine Kieselsinter- oder Geysirbildung sei, und dass die versteinerten Hölzer durch dieselbe Ursache gebildet wurden. Freilich kannte man keine Sinterröhren, durch welche die Kiesellösung emporgedrungen sei, und diese Lücke der Beobachtung war ein gewichtiger Einwurf, den Zittel gegen Schweinfurth geltend machte.

Inzwischen wurden solche Sinterröhren aber in Menge durch Schweinfurth gefunden und beifolgende Zeichnungen Fig. 76, 77 geben diese Erscheinung vom Nordostfuss des Dj. Achmar wieder.

Auf Taf. VIII, Fig. 5 und 7 sind Fragmente solcher dunkelrother Sinterröhren auf dem Querbruch dargestellt, man sieht in das Röhrenlumen hinein.

Russegger[1]) hatte zwar die irrthümliche Ansicht, dass der Dj. Achmar (oder wie er schreibt G. Ahfrak) ein Vulkan sei, doch hat er richtig beobachtet, dass: »die Eruption durch die der Djebel Ahfrak entstanden ist, erst geschehen sein muss, als schon Wüste diesen Punkt bedeckte; denn man findet den Sand der Wüste von dem Zustand einer leichten Zusammenfrittung der Körner an bis zur vollendeten Lava«.

Wenn damit sehr wahrscheinlich gemacht ist, dass der Sandstein des Dj.-el-Achmar ein durch Kieselsinter verkitteter Wüstensand sei, so wird diese Annahme noch wahrscheinlicher durch den Nachweis, dass ich unter den Geröllen, welche in der Einbettungsmasse der Hölzer am grossen versteinerten Wald vorkommen, das auf Taf. VIII, Fig. 1 abgebildete Stück fand, welches so sehr den Charakter eines durch die Wüstensonne gesprengten Kiesels hat, dass ich an der Homologie beider Erscheinungen nicht zweifele.

Ein zweites Taf. VIII, Fig. 4 abgebildetes Stück aus dem Dj. Achmar zeigt ein Holzfragment mit scharfen Kanten, eingebettet in Sand-

---

1) Neues Jahrbuch f. Min. 1836, p. 691.

stein, und ich glaube auch dieses für einen Beweis ansprechen zu dürfen, dass während der Bildung des Dj.-el-Achmar daselbst schon Wüstenklima herrschte.

Wenn es somit wahrscheinlich gemacht werden kann, dass die Bildung der Sandsteine des Dj.-el-Achmar, und die Einbettung der versteinerten Hölzer ein gleichzeitiger Vorgang war, so müssen wir jetzt untersuchen, welchen Einfluss Geysirquellen auf benachbarte Baumstämme ausüben. Beobachtungen darüber hat O. Kuntze[1]) gemacht: »Als ich im U. St. National-Park am Boiling-Lake-Geysir war, sah ich in nächster Nähe den Wald zerstört und zwar auf höchst eigenthümliche Weise. Die Bäume, wo das heisse Geysirwasser hingelaufen war, hatten Blätter, Rinde, viele Äste verloren, sowie eine weisse Farbe und zum Theil ein weiches Äussere erhalten, die meisten Bäume standen noch aufrecht, viele waren umgefallen. Die umgefallenen waren zuweilen innen verrottet, sonst aber zeigten sie gleich den stehendeu abgestorbenen Bäumen genau dieselbe Erscheinung wie jene Hölzer, welche von den Besuchern zuweilen in die Geysirbassins geworfen wurden, nachdem sie zur Messung der Bassintiefe benutzt waren, d. h. sie waren von kieselhaltigem Wasser mit Kieselsäurehydrat imprägniert, weiss und weich geworden. Doch war der Unterschied bemerkbar, dass die Kieselsäure in dem im Wasser liegenden Holz nicht hart geworden, sondern weich geblieben war, während an den Bäumen in der Luft die Erhärtung des kieselhaltigen Holzes von Aussen nach Innen zu progressiv stattfand. Mancho Bäume waren noch weich und zeigten noch Holzfasern, andere waren härter und die verweste Holzfaser war durch Kieseleinlagerung von gleicher Structur ersetzt..... Die Entstehung der verkieselten Bäume erklärt sich gemäss meinen Beobachtungen auf folgende Weise: Das kieselhaltige heisse Wasser gelangt zuweilen in den benachbarten Wald; dies geschieht z. B. dadurch, dass die Geysirs sich ihr Bassin nach und nach erhöhen und zeitweise ihr Wasser nur nach einer Seite abfliessen lassen; während dessen entwickelt sich nahe der anderen Seite der Wald. Allmählich erhöht sich auf der einen Abflussseite durch die sehr langsam stattfindende Kieselsinterung der Bassinrand und das heisse

1) Ausland 1880, p. 368.

Wasser fliesst eine lange Zeit nach einer anderen Seite ab und in den Wald. Ausser diesem Fall, welcher für die Verhältnisse am Boiling-Lake-Geysir passt, sind noch andere Fälle möglich, dass heisses Kieselwasser in den Wald gelangt. Wenn es aber geschieht, dann sterben die Bäume ab, verlieren Blätter, Rinde, viele Äste, bleiben aber aufrecht stehen. Das heisse Kieselwasser steigt capillarisch durch die Holzzellen im Baume in die Höhe, imprägniert sie und verdunstet zunächst an der Aussenseite der oberirdischen Wurzeln des Stammes. Dadurch scheidet sich die Kieselgallerte in den äusseren Schichten des Holzes zuerst ab und erhärtet nach aussen zuerst, wobei die Verwesung des Holzes mit der Erhärtung der Kieselgallerte gleichen Schritt hält, indem sie von aussen nach innen vorschreitet. Oft kommt es vor, dass die anfänglich durch die Kieselgallerte etwas weich gewordenen Baumstämme durch den Wind umfallen; dann ist meist nur der äussere Theil verkieselt und erhärtet, der innere Theil verwest nachher und wird entweder durch fremde Materie ausgefüllt oder bleibt hohl.

Die verkieselten Bäume entstehen also nie unter Wasser, sondern über dem Erdboden in situ, durch verhältnissmässig wenig, aber stetig zufliessendes kieselhaltiges Wasser von Geysirs oder heissen Quellen, welches in dem Holz capillarisch in die Höhe steigt und an der Luft allmählich verdunstet.

Das in den Firehole- und Madison-River abfliessende erkaltete kieselhaltige Wasser der Geysirs verursacht keine verkieselten Bäume, trotzdem es in den bewaldeten Sümpfen neben dem Flusse weithin reichlich weisse sinterartige Kieseldepositen ausscheidet, was man namentlich an den aufgerichteten, mit Erde behafteten Wurzeln der durch den Wind oft umgeworfenen lebenden Coniferen dort ersehen kann.«

Es sind zwar bisher keine thätigen Geysirquellen in den ägyptischen Wüsten gefunden worden, aber bemerkenswerth ist die Thatsache, dass in der Provinz Constantine die Hammâm-Meskhutin genannten 97° C. heissen Quellen sprudeln. »Neben der Cascadenbildung sind Sinterkegel häufig, welche sich um eine sprudelnde Quelle gebildet haben. Hunderte solcher, bis 10 m hoher Kalksinterhügel geben der Gegend einen sehr fremdartigen Charakter[1].«

1) Braun, Zeitschr. der deutsch. geol. Gesellsch. 1872, p. 34.

Hammâm-Meskhutin[1]) selbst liegt mitten in einem Gürtel heisser Quellen, welcher sich von Setif durch Constantine nach Hammâm-Berda erstreckt (vgl. auch Sedillot, Comptes rendus V, p. 555).

»Die heissen Quellen[2]) sind so mächtig, dass sie in jeder Minute über hunderttausend Liter kochendes Wasser liefern. Dichte Dampfwolken verrathen die zahlreichen Stellen, an denen das Mineralwasser aus einem siebförmig durchlöcherten Felsengrunde hervorsprudelt, entlang einer Erdspalte von 2 km Länge. Der sog. versteinerte Wasserfall, aus Kalksinter bestehend, ist eine in Staffeln abgetheilte Felsenbank von 20 m Höhe und der doppelten Breite. Oberhalb des versteinerten Wasserfalls erheben sich auf einem grünen Plateau über hundert 2—5 m hohe Sinterkegel, fast wie Termitenhaufen aussehend.«

Wenn hier auch nicht gerade Kieselsinter gebildet wird, so ist doch das Geysirphänomen hier direct in der Wüste beobachtet und bestätigt die Annahme Schweinfurth's.

Indem wir alle diese Beobachtungen mit den Umständen vergleichen, unter denen die fossilen Hölzer der jüngeren Tertiärzeit in Ägypten vorkommen, glaube ich, dass die Ansicht Schweinfurth's, wonach dieselben durch Geysirbildung entstanden seien, viel an Wahrscheinlichkeit gewinnt; und ich glaube, dass diese Annahme um so wahrscheinlicher und einwurfsfreier wird, wenn man die vorcretaceischen Hölzer des Nubischen Sandsteins als eine von jenen vollkommen verschiedene Bildung erkennt.

Wir sehen somit, dass die fossilen Hölzer in Ägypten zwei verschiedenen Erdepochen angehören und zwei verschiedenen Bildungsvorgängen ihre Entstehung verdanken; indem man zwei Erscheinungen die nichts mit einander zu thun haben, unter einem Gesichtspunkt behandelte, mussten sich Schwierigkeiten des Verständnisses ergeben, die leicht gelöst werden, wenn man das Problem zergliedert.

---

1) Pouillon Boblaye, l'Instit. 1838, p. 247 f.

2) E. Haeckel, Algerische Erinnerungen. Deutsche Rundschau 1890, Nov. p. 232.

V. Die Sandwüste.

1. Bildung des Wüstensandes.

Die Litoralzone der deutschen Küsten ist mit Sand bedeckt, welcher oft in hohen Dünenzügen aufsteigend zu den charakteristischen Erscheinungen der Küstenlandschaft gehört. Aber auch ausserhalb Deutschlands beobachtet man an allen nicht felsigen Küsten mehr oder minder bedeutende Anhäufungen von reinem feinkörnigem Quarzsand. In den Kreisen der Naturforscher nicht minder wie in denen der Laien ist die dadurch hervorgerufene Ideenassociation von Meeresküste und Dünensand auch auf den Meeresgrund übertragen und der Schluss gezogen worden, dass derselbe Sand auch den Boden des Meeres bedecke. Dieser Schluss widerspricht allen Beobachtungen. Ich habe seit einer Reihe von Jahren eingehende Untersuchungen an vielen Küsten angestellt, und hunderte von Grundproben der litoralen Sedimentzone entnommen, aber bis jetzt ist mir noch nicht ein Fall bekannt geworden, dass der reine Quarzsand, welcher die Dünenzüge oder den Strandsand an einer Küste bildet, sich auch am Meeresgrunde finde.

Bekanntlich zeichnet sich der Dünensand an den Küsten durch seine Reinheit von fremden Beimengungen aus, er wird wesentlich aus weissen oder gelblichen Quarzkörnchen gebildet, zwischen denen nur selten Staub und organische Schmutztheile vertheilt sind. Im Gegensatz hierzu ist der Meeressand selbst in wenigen Meter Wassertiefe missfarbig, mit mineralischen und organischen Gemengtheilchen durchsetzt, und aus einer Wassertiefe von 20 m erhält man schon ein Sediment, dass nur zum kleineren Theil aus Sand, im übrigen aber aus Schlamm besteht.

Wenn man an einer dünenreichen Küste, so z. B. der Kurischen Nehrung, die Beschaffenheit des Sandes vom Ostseeufer aufwärts bis zum Dünenkamm aufmerksam verfolgt, so kann man sich leicht davon überzeugen, dass mit zunehmender Entfernung vom Strande auch die Reinheit des Sandes zunimmt. Wir lesen dieselbe Beobachtung bei Marcel de Serres[1]: »Am Ufer der französischen Mittelmeerküsten

[1] Petermanns Mitth. V, p. 197.

findet sich eine Zone ausgeworfenen Meeressandes mit vielen Muscheln und Geröllen, daran schliesst sich eine zweite Zone feineren Sandes mit sehr wenig Muschelresten und organischen Stoffen, welcher landeinwärts immer weiter geweht wird.«

Mehrere Ursachen kommen zusammen um zu bewirken, dass der Sand unter Wasser mit Schlamm und organischen Stoffen durchsetzt ist, in der Luft aber von solchen Beimengungen gereinigt wird.

Zuerst spielt die verschiedene Dichtigkeit der beiden Medien eine beeinflussende Rolle, zweitens wird im Niveau des Wasserstandes durch die beständige Bewegung des Wassers der Sand gewaschen, und bei Ebbe findet der Wind am Ufer reingewaschenen Sand, den er weitertragen kann. Sodann ist die Bewegung der Luft im Durchschnitt eine viel stärkere als die des Wassers und endlich, als Hauptsache, ist die Bewegungsweise der Wellen von der des Windes grundverschieden. Obwohl die Wellen auf der Oberfläche des Meeresspiegels vorwärts zu schreiten scheinen, so bewegt sich doch im Grunde das Wasser nur vertical auf und nieder, und die bei der Aufwärtsbewegung suspendiert gehaltenen Schlammtheilchen werden beim Herannahen eines Wellenthales wieder dem Meeresboden genähert, und wenn der Sturm sich gelegt hat, so sind sie horizontal nur wenig fortgetragen, sinken langsam wieder zu Boden und verunreinigen wieder den Sand. Anders an der Küste oder auf dem festen Land. Die Bewegung des Windes ist eine horizontal fortschreitende, und alle vom Wind erfassten Staubtheile werden horizontal weitertransportiert. Deshalb reinigt der Wind den Sand leicht und schafft ein Sediment, das sich durch den Mangel an organischen Fremdkörpern und thonigen Verunreinigungen, mit anderen Worten, durch Reinheit und helle Farbe auszeichnet.

Die Reinheit und Staubfreiheit des Dünensandes an den Meeresküsten ist daher nicht eine Folgeerscheinung des »Meeres«, sondern der »Küste«. Der Sand am Meeresgrund ist schmutzig, mit Schlammtheilchen durchsetzt, der Sand in der Luft auf dem Festland ist rein und hellfarbig.

Indem man diese Erwägungen nicht beachtete und die thatsächlichen Beobachtungen vernachlässigte, bildete sich allmählich jenes, ich möchte sagen, verhängnissvolle Vorurtheil, dass der reine Quarzsand an der Küste eine specifische Meereserscheinung sei. Ich will

hier nicht weiter ausführen, wohin jener Irrthum auf geologischem Gebiet geführt hat, ich will nur darauf hinweisen, dass dieser Irrthum einer der Hauptbeweise war für die Hypothese, dass die Sahara ein ausgetrocknetes Meer nnd der Wüstensand Meeressand sei.

Als später durch kühne Reisende die Sahara nach allen Richtungen gekreuzt worden war, als man erkannte, dass der Sand in der Wüste nur begrenzte Räume bedecke, dass weite Wüstengebiete sandfrei seien, da erlitt jene Hypothese auch einen Stoss, und statt ihrer traten andere Ansichten auf.

Es war vielleicht ein Zufall, dass jetzt der Nubische Sandstein als Muttergestein allen Wüstensandes betrachtet wurde.

Als 1851 Overweg die tripolitanische Wüste geologisch untersuchte, reiste er eine lange Strecke durch ein Sandsteingebiet, und beobachtete, dass dieser Sandstein zu Wüstensand verwittere. Er schreibt[1]: »Der Landstrich zwischen W. Schiati und W. Rarbi ist ein Sandgebirge; Berge und tiefe Thäler aus losem Sand, steile Sandabhänge, scharfe Sandrücken. Nur an einer Stelle sah ich unter dem Sand den nackten mürben Sandstein anstehen; ich zweifele jedoch nicht, dass aller Sand hier an Ort und Stelle gebildet, d. h. Verwitterungsproduct eines losen Sandsteines ist.« Nach vorstehender Beschreibung könnte man allerdings mit ebenso gutem Recht die Sache umkehren, und den »mürben Sandstein« unter dem lockeren Wüstensand einfach als etwas verhärteten Wüstensand betrachten — allein ich will zugeben, dass hier wirklich Sandstein zu Wüstensand zerfällt, da ich selbst einige Wochen lang im Nubischen Sandstein gereist bin und gesehen habe, dass derselbe, wenn auch nur in geringem Masse, Sand liefern kann (s. Fig. 78).

1860 schreibt Bu Derba[2]: »Das Plateau von Tarurit ist mit Sandsteinblöcken von phantastischen Formen übersät, den Überresten zerstörter Mamelons. Der weisse Sand dankt seine Entstehung der Zerstörung dieser Felsen.«

»Der[3]) gelbe Sandstein am Fuss der Hammada von Tripoli liefert durch seinen Zerfall einen grossen Theil des Sandes, der den Winden

1) Overweg, Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges. 1851, p. 102.

2) Bu Derba, Zeitschr. f. allgem. Erdkunde. Berlin 1860, p. 480.

3) von Bart, Zeitschr. d. Vereins f. Erdkunde. Berlin 1876, p. 164.

preisgegeben, nur in tiefen Mulden oder hinter Höhenzügen zur Ruhe kommt.«

In diesen Fällen ist es ganz zweifellos, dass Sandstein verwitterte und dass als Denudationsresultat Wüstensand entstehen musste.

Auch Zittel[1]) beobachtete bei Dachel, wie Nubischer Sandstein zu Wüstensand verwittert, und sprach sich demzufolge dahin aus: »Gegen die Entstehung des Wüstensandes aus Nubischem Sandstein dürfte sich kaum ein gewichtiger Einwurf erheben.«

Wenn die ganze Sahara ausschliesslich von Nubischem Sandstein unterlagert würde, wenn kein Kalk, kein Granit in Nordafrika vorkäme, und wenn man sicher wüsste, dass der Wüstensand nicht

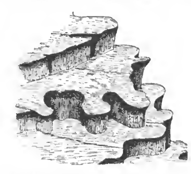


Fig. 78. Verwitternde Sandsteinfelsen am Dj. Hamâm Musa.

weither transportiert werden könne, so bliebe allerdings nur die eine Möglichkeit. Allein verschiedene Wüstenreisende erweitern schon das Ursprungsgebiet des Wüstensandes, wie ich vermuthe in der Erwägung, dass der Sand in der Wüste unverhältnissmässig grössere Räume einnimmt, als der Nubische Sandstein.

von Bary schreibt[2]): »Im Uâdi Igargarmellen liegen auf der Südseite einer hohen Bergwand Inegeddi helle Sanddünen. Es muss Jedem auffallen, hier mitten im Gebirge plötzlich auf hohe Dünen feinsten Flugsandes zu stossen, während auf der übrigen Tasili nirgends Sandanhäufungen vorkommen. Hier kann man gewiss nicht

1) Zittel, Über den geologischen Bau der libyschen Wüste. Festrede, Acad. der Wissensch. zu München. 1880, p. 19.

2) von Bary, Zeitschr. des Vereins für Erdkunde zu Berlin. 1876, p. 187.

von Zersetzung des Gesteins an Ort und Stelle sprechen, da die ganze Gegend aus demselben Sandstein besteht und wohl überall denselben Gesetzen der Verwitterung unterworfen ist.«

Wir lesen bei LENZ[1]: »Die heutige Sandbedeckung eines grossen Theiles der Sahara hat mit einem alten Meeresboden nichts zu thun; es ist dies ein durch die Atmosphärilien zerstörtes Sandstein- oder Quarzitgebirge .... Der Sand stammt aus den Flussbetten, aus denen er herausgeweht und weithin zerstreut wird.«

»Sandfelder spielen noch in der felsigen Wüste eine grosse Rolle, wo sie als *Zersetzungsproduct abgetragener Granitspitzen* die Basis der Thäler oft in erstaunlicher Regelmässigkeit nivellieren. Dazwischen finden sich namentlich in der Nachbarschaft amphibolischer Felsbildungen, streifenförmige Ansammlungen sehr feiner Thonlagen von gelblicher Färbung.[2]«

»Il en résulte, pour nous, la preuve la plus évidente que le vent n'a pas les effets qu'on lui suppose généralement, que les dunes ne doivent au vent que certaines formes spéciales, mais non leur production; que les dunes, près de Chadamès, sont les produits de la décomposition, de la destruction sur place de vastes plateaux ou montagnes, appartenant à la craie blanche, formés de quartzits, de gypses sableux, de dolomies quartzeuses, de gypses et de dolomie. Il est évident que cette montagne deviendra une dune; sa décomposition se fait de nos jours.«[3])

Was aber das Problem der Wüstensandbildung noch erweitert ist dies, dass der Nubische Sandstein wahrscheinlich selbst eine Wüstenbildung ist[4]), dass mithin das Problem nicht im geringsten gefördert wird, wenn man die Entstehung allen Wüstensandes aus dem Nubischen Sandstein herleitet. Die Lösung wird dadurch nur hinausgeschoben. Das weitgefasste Problem lautet vielmehr: *Wie und woraus entstand der Wüstensand der Gegenwart und der Wüstensandstein Nordafrikas? wo ist der Ursprung*

---

1) O. LENZ, Timbuktu II. p. 572.

2) G. SCHWEINFURTH, Pflanzengeogr. Skizze des gesammten Nilgebietes und der Uferländer des Rothen Meeres. Petermanns Mitth. XIV, p. 121.

3) Mission de Chadamès, p. 277.

4) G. SCHWEINFURTH, Sur une récente exploration de l'Ouâdi Arabah. Bull. de l'Institut Egyptien. Le Caire 1888, p. 15.

zu suchen für die dort aufgehäuften lockeren und verkitteten Massen reinen Quarzsandes?

Wir haben bei der Behandlung der »braunen Rinde« gesehen, dass die Oberfläche des Nubischen Sandsteins durch eine solche Rinde verhärtet und gegen Verwitterung und Sandgebläse geschützt ist, dass nur die beschatteten Spalten und Wandflächen des Sandsteins der Verwitterung zugänglich sind. Untersuchen wir, ob es in der Wüste noch andere quarzhaltige Gesteine giebt, deren Oberfläche nicht so leicht durch eine Schutzrinde verfestigt wird und die daher den wüstenbildenden Kräften stärker unterworfen sind.

Ich will zuerst ältere Beobachtungen mittheilen, wie ich sie zu meiner Freude überall in der Literatur zerstreut fand.

EHRENBERG schreibt[1]: »Die beschwerlichsten unserer Landreisen fallen in die Gegend der Urgebirge von Nubien, wo der tiefe Sand der Thäler die Kraft der Kameele und Menschen, selbst der Eingeborenen, bis zum Tode erschöpft. Ja jene Gebirgsgegenden bilden eine vielfache grossartige Wetterfahne, wie sie vielleicht nur einmal in der Welt existiert. Alle dazu gehörigen Felsen nämlich hatten mit entschiedener Consequenz in südlicher Richtung einen, wo der Raum der Fläche es gestattete, oft lang hinlaufenden Sandanhang, von zuweilen mehreren 100 Fuss Höhe.«

Zwischen Assuan und Berenice beobachtete BARTH[2]) am 15. October 1846 bei spärlichstem Baumwuchs im Granitgebirge, dass die Granitfelsen ganz und gar verwittert waren. Ihre Oberfläche bestand aus Kiesschutt, der den Regen leicht in den Thalboden hinabführt.

Häufig beschreibt G. SCHWEINFURTH[3]) dieselbe Erscheinung: »Im Gegensatz zum Granit, der grösstentheils durch Zersetzung des Feldspathes und die bei mangelnder Homogenität der Masse äusserst wirksamen Verzerrungen in Folge gewaltiger Temperaturveränderungen leicht zu gleichförmigem Kiessand zerfällt, welcher sich alsdann später durch gegenseitige Reibung seiner Theile im Winde

1) EHRENBERG, Beitrag zur Charakteristik der nordafrikanischen Wüsten. Abh. d. Acad. d. Wissensch. math.-physik. Classe, Berlin 1827, p. 17.

2) BARTH, Zeitschr. f. allgem. Erdkunde. Berlin 1860, p. 6.

3) G. SCHWEINFURTH, Zeitschr. f. allgem. Erdkunde. Berlin 1865, p. 134. 311. 398.

immer mehr abschleift und verfeinert, zeigt der Basalt ein ganz anderes Verhalten.«

»Der Granit am Fuss des G. Feraje bildet abgerundete Blöcke, welche an der Oberfläche blätterig zersetzt sind. Fussdicke und dünnere Scherben lagen abgelöst an der Basis der Blöcke und harrten ihrer weiteren Zersetzung zu grobkiesigem Sande.«

»Der Granit in Nordafrika hat die Eigenthümlichkeit, dass er sich an seiner Oberfläche schieferartig zersetzt.«

»Die[1]) Granitgebirge der arabischen Wüste erheben sich bis zu 4000 Fuss Höhe. Diese Gesteine sind nirgends wie in anderen Ländern von einer Humusschicht bedeckt, doch darf der Geologe seine Gäa auch nicht in reiner Nacktheit sehen, denn die oberflächliche Schicht ist meist, oft ziemlich tief hinein, durch und durch zerklüftet, so dass man nicht leicht ein gutes Handstück mit allseitig frischem Bruch abschlagen kann, auch bei Besteigen eines Berges keinen sicheren Halt findet, da diese Schicht sich abbröckelt.«

Aber nicht nur in der nordafrikanischen Wüste findet diese sonderbare Lockerung des Granites statt, sondern aus verschiedenen anderen Gegenden berichtet man dasselbe.

»Der[2]) Sand, welcher bis unmittelbar an die Küste von Angra-Pequena in den Thälern zwischen den Gneissbergen, sowie weiter landeinwärts bis |Aus sich findet, an beiden Orten aber mehr eine gröbere Beschaffenheit besitzt, ist nichts anderes als das Verwitterungsproduct des Gneisses. Hitze und Wind arbeiten an dessen Zerstörung. Dünne Schalen springen zunächst vom Gneiss ab, diese zerfallen dann allmählich zuerst zu gröberem, dann zu immer feinerem Sande. In diesem lassen sich die Bestandtheile des Gneisses noch sehr gut erkennen.«

»Der Dünensand[3]) der SW.-Küste Afrikas scheint nicht sehr weit transportiert zu sein, sondern mehr sandig abgerollter Detritus des unter ihm anstehenden Gesteins, denn mitten in dem weissgelben, fast nur aus Quarzkörnern bestehenden Sande kommen einzelne Flecken von rothem oder schwarzem Sand vor. Ersterer besteht

1) Klunzinger, Bilder aus Oberägypten, p. 229.

2) A. Schenk, Petermanns Mitth., Bd. 31, p. 133.

3) Stapff, Petermanns Mitth. Bd. 33, p. 206 und Verh. des Vereins für Erdkunde. Berlin 1887, p. 52.

ganz überwiegend aus rothem Eisenkiesel, letzterer aus Magneteisensteinkörnchen von Scheibenpulvergrösse. Der schwerere Sand nimmt immer die Kämme, der leichtere die Vertiefungen der Windrippeln ein. Solche farbige Sandflecken kommen namentlich an den Küstendünen von Sandwichhafen nordwärts vor, wo aber auch eine Quarzitklippe zu Tage tritt, mit rothen Eisenkieselstreifen und Magneteisensteinkörnchen d. i. dem Material des gefärbten Sandes.... An den Kämmen mitten in den Dünen bemerkte ich einige Male glitzernde federbuschähnliche Wölkchen, und hielt sie für eine neue Form von Luftspiegelung, bis ich mitten in eine ritt und fand, dass sie aus zarten Schüppchen von Kaliglimmer bestand. In der Nähe von Pegmatithügeln auf der Namieb sieht man öfters solchen Glimmerstaub.«



Fig. 79. Sinaiwüste nahe dem Ras Muhâmmed.

»Zwischen[1]) den Sockeln der Einzelberge in der Kieswüste von Walfischbay bemerkt man hier und da Gruppen ganz flacher Rundhöcker, Riffe, wohl auch einzelne Klippenzähne, oder gar nur den Schutt zerstörter Klippen, welcher so wenig verschleppt ist, dass er Umgrenzung und Natur der ehemaligen Klippen erkennen lässt. Weisse Flecken von Quarz und Feldspath, schwarze von Diabas, Hornblendegesteinen, dunklem Schiefer oder oberflächlich geschwärztem Gneiss herrührend.«

Nachdem ich mich durch eingehende Beobachtung der Sandsteinfelsen in der mittleren Sinaiwüste überzeugt hatte, dass dieselben oberflächlich nicht stark verwittern, richtete ich mein Augenmerk auf die krystallinischen Gesteine, welche in so grosser Mannigfaltigkeit und Verbreitung die südliche Sinaihalbinsel s. Fig. 79 und die Aussenkette des Arabagebirges bilden. Es fiel mir bald auf, dass alle diese Gesteine, vom dünnschieferigen Gneiss bis zum homogenen Stock-

1) Stapff, Verh. des Vereins für Erdkunde zu Berlin. 1887, p. 48.

granit oberflächlich durchaus bröckelig waren, obwohl der Feldspath geringe Spuren chemischer Zersetzung zeigte. Die Felswände ebenso wie einzelne Blöcke waren von gesunder hellrother oder grauer Farbe, und dennoch bis in mehrere Zoll Tiefe vollkommen bröckelig. So verbreitet war diese oberflächliche Lockerung, dass es mir nur selten gelang, ein Handstück dieser so frisch aussehenden Gesteine zu schlagen. Jeder Hammerschlag erzeugte ein Haufwerk von Grus. Die Quarzkörner trennten sich von den Feldspathkrystallen, diese vom Glimmer oder von der Hornblende, und ganze Berggehänge fand ich überschüttet mit diesem groben Granitgrus.

Auf Taf. III ist in Fig. 3 ein Stück dunkelrothen Granites in unzersetztem frischem Bruche dargestellt, wie er am Sinai häufig ist. Fig. 2 zeigt den zerbröckelnden Sinaigranit, der durch Insolation gelockert nur noch aus locker zusammenhängenden Quarz- bez. Feldspathkrystallen besteht, welche leicht völlig auseinanderfallen.

Taf. III, Fig. 1 zeigt die obere zerbröckelnde Hälfte eines solchen Stückes grauen Sinaigranites, welches, von einer Anzahl Sprünge durchzogen, nur noch aus locker zusammenhängenden Krystallen besteht. Die andere Hälfte des Stückes steckte im Sand, und zeigt keine derartigen Spuren der Zersetzung, ein Beweis dafür, dass diese letztere nicht durch chemische Verwitterung sondern durch die Einwirkung der Sonnenwärme entstanden ist.

Die Erscheinung ist so allgemein, dass ich mich gar nicht wunderte als ich las, dass die Beduinen Innerarabiens für diese groben Sandarten einen besonderen Namen haben. Euting[1]) schreibt, dass man in Centralarabien Raml den gelben, weissen Flugsand nennt, Bathah aber den grobkörnigen Granitsand. Man sollte nun nach den Gesetzen der Schwere annehmen, dass der Bathah in den Thälern, der Raml aber in den höheren Granitgebieten lagere, allein das Gegentheil ist der Fall, wie uns Lady Anne Blunt[2]) beschreibt: »The red sand of the Nefud is of different texture from the ordinary white sand of the desert, and seems to obey mechanical laws of its own. It is coarser in texture and far less volatile, and I am inclined to think, that the ordinary light wind, which vary sandy surfaces

1) Euting, Verh. des Vereins für Erdkunde zu Berlin. 1886. p. 266.

2) Lady Blunt, A Pilgrimage to Nedj. II, p. 241.

elsewhere leave it very little affected. It is remarkable that whereas the light white sand is generally found in low hollows, or on the lee side of the hills, the red sand of the Nefud has been heaped up into a lofty mass high above the higher part of the plain.«

Diese auffallende Erscheinung lässt sich nur dadurch erklären, dass wir annehmen, der Baṭḥah, der grobe Granitsand, ist das primäre, und Raml, der feine Quarzsand, das secundäre, weiter transportierte Product.

Dass diese Zersetzung des krystallinischen Gesteins keine chemische, sondern vielmehr eine mechanische ist, beweist die Beobachtung einzelner Granitblöcke, welche zum Theil in der Erde stecken. Sie sind auf der aus dem Boden ragenden Hälfte stärker zerbröckelt, als auf der im Boden verborgenen. Da wir nun gesehen haben, dass die chemische Verwitterung am stärksten im Schatten ist, und an den Orten wo die Feuchtigkeit von der Sonne schwer abgetrocknet wird, so müsste die durch chemische Verwitterung gelockerte Granitoberfläche in der Erde stecken, und die herausragende gesund sein. Da die Beobachtung das Gegentheil lehrt, so ist dies ein sicherer Beweis dafür, dass die erwähnte Zersetzung ohne chemische Action verläuft. Es ist eine allbekannte Erscheinung, dass verschieden gefärbte Substanzen verschieden grosse Mengen von Wärme absorbieren; wir wissen auch, dass verschiedene Mineralien eine verschiedene specifische Wärme haben.

»Schon[1]) im Winter betragen die Temperaturdifferenzen des Gesteins 30°, und im Sommer noch viel mehr. Betrachtet man einen Felsblock von 1 cbm, so wird dieser durch Wärmeänderung an seiner Oberfläche täglich um etwa 1 mm ausgedehnt und wieder zusammengezogen; und denkt man sich diese oscillatorische Bewegung Jahrhunderte lang fortgesetzt, so begreift man sofort, warum in der Wüste alles Gestein an seiner Oberfläche vollständig zersplittert und zerklüftet ist.«

Wenn diese Temperaturunterschiede auf homogene, gleichfarbige Gesteine einwirken, dann bilden sich, wie ich in den vorhergehenden Abschnitten beschrieben habe, peripherische oder radiale Sprünge.

---

1) JORDAN, Physische Geographie und Meteorologie der libyschen Wüste. Cassel 1876, p. 127.

Anders aber gestalten sich die Verhältnisse, wenn ein Granit diesem Temperaturwechsel unterliegt. Der Granit besteht aus miteinander verwachsenen Krystallen von weissem Quarz, rothem Feldspath, schwarzem Glimmer oder Hornblende. Diese drei Mineralien haben aber nicht nur eine verschiedene Färbung, sondern auch eine verschiedene specifische Wärme. Während ein Basaltblock oder ein Kalkfelsen in toto den Wärmeschwankungen unterworfen ist, und als Ganzes reagiert, individualisiert sich im Granit oder in anderen krystallinischen Gesteinen die Wirkung der Insolation in jedem einzelnen Mineralkrystall. Die verschiedene Farbe lässt jeden solchen eine andere Wärmemenge absorbieren als den benachbarten anders gefärbten Krystall, die verschiedene specifische Wärme kommt hinzu, um die Ausdehnungsunterschiede benachbarter Krystalle zu steigern. Das Umgekehrte vollzieht sich bei der Nacht, wenn die Gesteine ihre Wärme wieder ausstrahlen, und sich wieder zusammenziehen — man denke sich diesen Vorgang täglich wiederkehrend, man verfolge ihn durch Jahre und Jahrhunderte, und man wird nicht mehr erstaunt sein, über die Thatsachen, dass:

1) die krystallinischen Gesteine oberflächlich zerbröckeln,
2) dass ihre Wände ohne groben Schutt aus sandigen Ebenen emporsteigen,
3) dass die Beschaffenheit des Wüstensandes nach Farbe und Korngrösse differiert und häufig dem zunächst anstehenden krystallinischen Gestein entspricht,
4) dass der grobe Granitgrus Baṭhah bis in die höchsten Berge verfolgt werden kann,
5) dass die krystallinischen Gesteine die wichtigsten Sandbildner in der Wüste sind.

Dem Auge des Reisenden, der vom Kamelrücken herab den Sand zu seinen Füssen betrachtet, scheint derselbe über weite Strecken sich in Beschaffenheit und Farbe immer gleich zu bleiben. Wenn man aber an verschiedenen Stellen Sandproben sammelt, so sieht man bei eingehender Betrachtung, dass dieselben doch oft wechseln und ihre Eigenschaften verändern.

Wer freilich, wie es ein Forscher[1]) gethan hat, um die Beschaffen-

1) Brun, Jahrbuch der k. k. geol. Reichsanstalt Wien (Mineralog. Mitth.). 1878, p. 221.

heit des Saharasandes zu bestimmen, Proben von vier verschiedenen Localitäten der nordafrikanischen Wüste mit einander mischt und von dieser Mischung eine chemische Bauschanalyse macht, der wird geneigt sein, die Verschiedenheit des Wüstensandes gering zu achten.

Auf Taf. VII sind acht verschiedene Proben Wüstensand zur Darstellung gelangt, die ich auf einer schwarz und weissen Fläche ausbreitete. Fig. 1 ist Sand aus der Kieswüste am grossen versteinerten Wald, in dem viele kleine Kiesfragmente enthalten sind; der Sand ist gelb, und daher auf der Photographie etwas dunkel ausgefallen. Fig. 2 zeigt eine Probe des scharfkantigen Sandes, welcher am Sinai (el Masraije) aus der Zerbröckelung von Granit entsteht. Man erkennt die scharfen Ecken der einzelnen Körner und kann sogar die helleren Quarze von dem dunkleren Feldspath leicht unterscheiden. Durch weitgehende Zerkleinerung entsteht daraus Fig. 6, der an dem Granitkegel Krên Utûd (südl. Sinai) etwa 100 m hoch hinaufgetrieben war und grosse Flächen dort bedeckte. Auch hier sind die helleren Quarze aus den Feldspathfragmenten leicht zu erkennen. Fig. 4 ist eine Probe des glimmerhaltigen Sandes, der auf der Leeseite einer Düne im Arabagebirge beobachtet wurde (s. Zeichnung Fig. 80). Die rundlichen Glimmerblättchen heben sich aus dem gelben Sand als helle Flecken augenfällig hervor. Gröbere Arten reinen Quarzsandes sind in Fig. 3 (nordwestlich von Abû Roâsch) und Fig. 5 (westlich von den Pyramiden gesammelt) abgebildet. Bei diesen beiden Proben sind die Quarzkörner durch den Wind ausgelesen und die andern Bestandtheile krystallinischer Gesteine entführt.

Wir lesen bei Lenz [1]): »Südlich von Igidi finden sich weite Strecken bedeckt mit einem feinen rothen Sand, dann trifft man wieder schönen gelben Quarzsand. Südlich der Sanddünen Areg el Nfech erstreckt sich eine weite, mit grossen zahlreichen Blöcken von weissem und grauem Quarz bedeckte Ebene.«

»Der Sand [2]) der Ebene von Bay Hardjah (Hadhramaut) ist sehr glimmerreich, und in den Betten einiger Regenbäche findet man Stückchen von Feldspath, Quarz und Augitkörnern.«

»Bemerkenswerth [3]) ist die Reinheit des Sandes (in der Igidi-

1) O. Lenz, Timbuktu. II, p. 78.

2) v. Wrede, Zeitschr. f. Erdkunde. Berlin 1872, p. 225.

3) O. Lenz, Timbuktu. II, p. 59.

region), der nicht nur sehr wenig Staub enthält, sondern fast ausschliesslich aus bis hirsekorngrossen Körnern von Quarz besteht; sieht man genauer hin, so findet man auch manches schwarze Pünktchen, kleine Tafeln oder Nadeln von Hornblende . . . . . Am folgenden Tag ändert sich nun die Landschaft in auffallender Weise, — bald finden wir Geröllstücke von Granit und Porphyr und in der Ferne erblicken wir die Berge, von denen jene stammen. Zu beiden Seiten erheben sich diese isolierten 3—400 m hohen Berge.«

Doch verfolgen wir erst noch, welche Schicksale der Granitgrus erleidet, bis er zu Quarzsand wird. Wir sahen, dass die krystallinischen Gesteine in ihre mineralischen Elemente zerfallen, und dass, um bei dem Beispiel eines normalen Granites zu bleiben, Feldspath, Quarz und Glimmer in isolierten Krystallen am Abhang einer Felswand liegen. Sobald diese Elemente von einander getrennt sind, unterliegen sie jenen Kräften, welche wir bei Beschreibung der Kieswüste kennen gelernt haben, sie werden durch Sprünge in kleinere Fragmente zerlegt und durch das Sandgebläse zerrieben.

Hierbei werden die Körner von Feldspath und Glimmer sich anders verhalten als die des Quarzes. Dieser entspricht krystallographisch nur einem oder wenigen Individuen. Der Plagioklas aber und der Glimmer baut sich auf aus vielen dünnen Lamellen, welche gegenüber der Insolation als ebenso viele Angriffspunkte wirken. Daher ist die Zersplitterung des Plagioklas und des Glimmers eine viel intensivere als die des Quarzes.

Aber nicht nur der Sonne, sondern auch dem Winde gegenüber verhalten sich die verschiedenen Gemengtheile verschieden.

Der Glimmer ist so leicht, dass ihn der leiseste Windstoss entführt, er ist ausserdem so weich, dass er leicht zerrieben wird, wenn er inmitten einer treibenden Sandwolke schwebt. Das Gleiche gilt, wenn auch in geringem Masse, von dem Feldspath. Hier kommt aber die leichte chemische Zersetzbarkeit noch hinzu. Während der Nacht, am thaufeuchten Morgen wird der durch viele Capillaren zerkleinerte und geöffnete Feldspath von der Feuchtigkeit chemisch zersetzt, während der Quarz diesem Agens gegenüber grosse Widerstandsfähigkeit besitzt.

So dürfen wir uns gar nicht wundern, wenn der Glimmer fortgeweht, und der Feldspath zu feinem Thonstaub zerrieben wird,

jenem mehlartigen Staub, der in der Wüste so häufig beobachtet wird, der die Luft beim Samum verdunkelt, der das Wasser der Uâdibäche färbt, und dann als Lehmrinde s. Taf. I, Fig. 7 in der Sohle des Thales so lange liegen bleibt, wie ihm die geringe Feuchtigkeit noch einige Plasticität verleiht, und gegen den Wind schützt.

Am 19. April 1887 ritt ich von Râs Nasesâd nördlich über die 10 km breite und 30 km lange Ebene von Burdess nach Ayin Marchâ. Das Wetter war klar und jede Bergkuppe war auf 40 und mehr Kilometer Entfernung zu erkennen. Ich sah die Denudationsreste des Nubischen Sandsteins in 3000 Fuss Höhe auf den Granit hinübergreifen, jede Bank, jede Schicht war deutlich zu unterscheiden. Da wälzte sich gegen 11 Uhr vom Norden her eine Nebelmasse heran, die ich auf kaum 1000 Fuss Höhe taxierte. Sie verhüllte zusehends einen Berg nach dem anderen, und in der Zeit von 20 Minuten befand ich mich in einer so dichten Staubatmosphäre, dass man nicht 200 Schritt weit sehen konnte. Die Luft war trocken, die Temperatur 27° C. Kurze Zeit darnach begann ein regelrechter Sandsturm; Sandwolke auf Sandwolke zog über uns weg, und nach drei Stunden war Sand und Staub vorüber, allerdings ohne dass die Luft so klar wurde wie am Morgen. So trieb dieser Sturm die beiden wichtigsten Elemente der zersetzten krystallinischen Gesteine, den Feldspathstaub und den Quarzsand, mit colossaler Geschwindigkeit dahin, zuerst den leichteren Thonstaub, dann die schwereren Quarzkörner.

Viel zersetzten und unzersetzten Feldspathstaub transportieren die Gewitterregen auch zu Thal. Wir lesen bei EBERS[1]: »Die nach einem Gewitter von den Granitbergen im Uâdi Barak herabfliessenden Wasserbäche hatten meist eine röthliche, hie und da eine entschieden rothe Farbe.« Das beobachten wir im Granitgebirge in Europa nicht, dass ein Bach roth gefärbt sei — und an Laterit ist hier nicht zu denken; es ist vielmehr der durch Insolation gelockerte rothe Feldspath, dessen Staub die Bäche röthet.

Dieser Staub ist besonders auffallend zu beobachten in den der Wüste nahen Sandgebieten und wird von vielen Reisenden nachdrücklich erwähnt. Eine übersichtliche Zusammenstellung solcher

1) EBERS, Durch Gosen zum Sinai. 1872, p. 440.

Beobachtungen giebt O. Schneider[1]): »Die Berichterstatter, welche den Chamsin etwas eingehender geschildert haben, stimmen darin überein, dass derselbe feinen Staub aufwirbelt und mit sich führt. — Wiederholt sah ich bei Ramle an Chamsintagen die Sonne nur für kurze Zeiten, oder thatsächlich von früh bis Abend gar nicht und dabei war das den ganzen Tag herrschende Dämmerlicht so schwach, dass sich mir unwillkürlich der Gedanke aufnöthigte, die in der Bibel erwähnte »ägyptische Nacht«, welche ja auch drei Tage gedauert haben soll, könne nur auf eine Reihe recht schlimmer Chamsintage zurückgeführt werden. Das bei dem Subtropenklima Ägyptens so wunderbar hochgewölbte Firmament erschien dann flach und herniedergezogen, wie unser melancholischster Regenhimmel, und der Horizont verhüllt und dicht herangerückt. Noch vollkommener aber zeigte sich die »Sättigung« der Luft mit Staub bei jenem Chamsin, dessen schlimmsten Theil ich auf der Nordhälfte des Kanals von Sues durchlebte. Von den mächtigen Baggern waren, obwohl wir in kaum zwei Meter Entfernung vorüberfuhren, nur die nächsten Balken und auch diese nur wie Schemen, unklar und ohne scharfe Umrisse sichtbar. Anderthalb Tage haben wir damals die Sonne nicht gesehen. — Diese Art der Staubführung ist dem Wüstenwinde Unterägyptens durchaus eigen und unterscheidet ihn scharf von den dort gelegentlich auftretenden Sandstürmen, deren einen ich am 14. October 1868 erlebte. Nachmittags erhob sich von ONO kommend bei ziemlich bedecktem Himmel ein heftiger Sandsturm. In grossen, oft mehr als haushohen Wolken oder Wehen fegte der Sand über den Boden der Ramleer Küstenwüste, so dass er zeitweilig die Aussicht auf die nächsten Gartenhäuser verdeckte.«

Schneider beschreibt dann weiter die electrischen Erscheinungen während eines Sandsturms im Anschluss an Rüppell und Scheuermann und betont schliesslich, dass der Sand oft in Sandhosen gewirbelt wird.

Wir sehen also sowohl den feinen Thonstaub, als den gröberen Quarzsand als charakteristische Begleiter des Wüstenwindes; dass aber auch gelegentlich der Glimmer noch zu beachten ist, fand ich

1) Der Chamsin und sein Einfluss auf die niedere Thierwelt. Festschrift, Verein für Erdkunde, Dresden, Sep. p. 9.

am Fusse des G. Burbäh am Nordrande des Arabagebirges. Hier wurde ein schmales Thal durch eine Anzahl Dünenkämme s. Fig. 80 abgesperrt, welche aus Quarzsand und gelbem Feldspathstaub bestanden. In der Hohlkehle auf der Leeseite der ersten Düne fand ich ein 1 Fuss breites Band von Glimmerblättchen, untermengt mit dürren Pflanzenresten, — also alle Gemengtheile des Granites an einer Düne vereinigt.

Auf Taf. VII, Fig. 4 habe ich diesen glimmerreichen Sand dargestellt. Die rundlichen weissen Flecken sind spiegelnde Glimmerblättchen.

Aus allem dem Gesagten aber geht hervor, dass von allen



Fig. 80. Dünen (Durchschnitt) am Nordende des Arabagebirges. *a* Streifen von Glimmersand. *b* Wasserlache.

quarzhaltigen Gesteinen die krystallinischen Gesteine in der Wüste am stärksten zerstört werden, viel stärker als Sandstein oder Feuerstein und Jaspis. Diese Zerstörung erfolgt ohne wesentliche Betheiligung der chemischen Verwitterung, und in der von Stürmen durchbrausten Wüste werden die Bestandtheile des zerfallenen krystallinischen Gesteins in der Weise gesondert, dass der leichtere Feldspath u. s. w. weit entführt wird und der Quarzsand schliesslich allein übrig bleibt.

Was wird aber aus diesem Feldspathstaub schliesslich? So viel ist klar, dass er nur da aufgehäuft werden kann, wo der Wind nachlässt, der ihn transportierte, oder wo er einen Boden findet, der ihn festhält. Dieser Boden kann entweder mit einer Vegetationsdecke überzogen, den Staub fangen — als Beispiele dienen die Steppen und Savannen, welche die Wüsten begleiten.

Es ist kein Zufall, dass der Boden der vegetationslosen Wüste mit Quarzsand, der Boden der grasbewachsenen Steppe mit Thonstaub bedeckt ist; es ist aber auch kein Zufall, dass die nordafrikanischen Wüsten von Thonstaubsteppen umgeben werden. Wüste und Steppe hängen genetisch zusammen nicht nur vom Gesichtspunkt der Klimatologie, sondern auch von dem der Sedimentbildung; die Steppe ist oft ein Kind der Wüste.

Nach den Untersuchungen von Buvay findet sich an der ganzen nordafrikanischen Küste ein Übergang zwischen dem cultivierten Küstenland und der Wüste, welcher als Steppe bezeichnet werden muss[1]).

Wenn aber keine Steppenzone die Wüste begrenzt, deren Vegetationsdecke den Feldspathstaub auffängt, dann wird er weiter und weiter getragen, bis er einen Boden findet, auf dem er festklebt, mag dies der durch das Salz immer feucht gehaltene Boden einer Lehmwüste (s. den betreffenden Abschnitt), oder mag es das Meer sein. Hier findet endlich aller Feldspathstaub seine Ruhe, und die Staubfälle[2]), welche von dem Seefahrer auf offenem Meer fern von der Küste beobachtet werden, die Staubnebel, welche den Horizont trüben, hängen eng zusammen mit einem Vorgang, der sich in der centralafrikanischen Wüste vollzieht, der den Wüstensand bildet, der gewaltige Granitgebirge zu flachen Hügelgruppen einebnet.

Vorstehende Beobachtungen und Studien waren bei mir durch einen Satz bei F. von Richthofen angeregt worden, welcher[3]) schreibt: »Durch die Insolation sollten zusammengesetzte Felsarten, besonders solche, bei denen hellere und dunklere Bestandtheile miteinander wechseln, stärker gelockert werden, als homogene und gleichfarbige; dunkelgefärbte mehr als helle.«

Als ich im Herbste 1888 in Schottland war und bei Dr. Murray die Untersuchungsmethoden und die Tiefseesedimente des Challenger studierte, lernte ich Herrn Professor Thoulet aus Nancy kennen, welcher zu demselben Zwecke dort weilte. Im Laufe eines Gespräches erfuhr ich, dass derselbe bei einer Untersuchung der Vogesen fast gleichzeitig mit mir (23. August 1887) zu denselben Resultaten gelangt war. Auf meine Bitte war Herr Professor Thoulet so liebenswürdig mir einen Auszug seines Tagesbuches zur Verfügung zu stellen, den ich hier folgen lasse:

»J'avais rédigé cette note dans les Vosges (Granges), en présence

1) Zeitschr. für Allgem. Erdkunde. Berlin 1857, p. 290.

2) Vgl. Hellmann, Monatsberichte der K. Acad. d. Wissensch. Berlin 1878 Dinklage, Ann. f. Hydr. und marit. Meteorologie 1886.

3) Führer für Forschungsreisende, p. 94.

des gigantesques éboulis de granite qu'on trouve dans cette région.

Une roche sera d'autant plus fissurée qu'elle sera plus composée d'éléments ayant entre eux de plus grandes différences de coefficient de dilatation par la chaleur.

Prendre comme exemple le granite de la Vallée de Granges (Vosges).

Plus une roche sera fissurée et plus sera abaissé le maximum d'éclatement par la gelée indiqué expérimentalement.

Eclatement de surface par l'action combinée de la gelée et du soleil. L'éclatement sera d'autant plus grand que la roche

1) sera dans un climat où ont lieu les plus grandes alternances de température et que cette roche sera exposée plus directement aux rayons du soleil c'est-à-dire faisant face au sud;
2) sera plus mauvaise conductrice;
3) sera plus compacte (non poreuse);
4) sera composée d'éléments ayant des coefficients de dilatation plus différents.

Une roche se fissurera d'autant plus que ses éléments auront des chaleurs spécifiques plus différentes. En effet, la chaleur spécifique étant la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1° la température d'une substance, pour une source de chaleur constante les éléments de la roche s'échaufferont d'une manière plus différente et nous rentrons alors dans le cas des coefficients de dilatation, aussi un élément rocheux à chaleur spécifique forte et à coefficient de dilatation faible, présentera pour la roche le minimum de danger de fissuration à la surface, et un élément à chaleur spécifique faible et à coefficient de dilatation élevé offrira le maximum de danger de fissuration. Rôle de la composition chimique de la roche; de la couleur (pouvoir absorbant).«

Ich glaube, dass diese Bemerkungen des hervorragenden Experimentalgeologen zeigen, welche Bedeutung der soeben geschilderte Vorgang der Sandbildung in der Wüste auch für andere Klimate besitzt; zu gleicher Zeit möchte ich darauf hinweisen, dass die fast gleichzeitig von Professor Thoulet, unabhängig von den meinen, angestellten Beobachtungen ein Beweis für die Richtigkeit meiner hier ausgesprochenen Ansichten sein dürften.

Von den meteorologischen Kräften, welche an der Erdoberfläche Anhäufungen von Kieselsand bilden, finden wir eine ganze Anzahl auch in der Wüste thätig. Die Brandung der Meereswellen bildet Küstendünen, welche landeinwärts wanderd Wüstendünen erzeugen; die Rinnsale der Uâdi sind bedeckt mit Quarzsand, den gelegentlich rinnendes Regenwasser auswäscht und lockert, so dass der Wind ihn leicht in die Wüstenebenen hineintragen kann, Sandsteinfelsen zerfallen und erzeugen ein sandiges Verwitterungsproduct, das ebenfalls zu Wüstensand wird. Aber alles das sind locale Vorgänge, welche das allgemeine Problem der Wüstensandbildung zwar lösen helfen, aber jedoch nicht einseitig zu lösen im Stande sind.

Sicher ist es, dass in allen Theilen der Wüste, fern von der Küste, unabhängig von der Vertheilung der Uâdi und ohne Zusammenhang mit Sandsteingebirgen, Sandhügel auftreten und grosse Strecken mit Quarzsand bedeckt sind. Der Nubische Sandstein selbst ist ein Sediment, dass nur aus verkitteten Quarzsanden besteht. Die Häufigkeit solcher Sandanhäufungen gerade in der Wüste, im Gegensatz zu anderen Denudationsgebieten der Erdoberfläche, ist zu auffallend, als dass man nicht auf die Vermuthung gebracht würde, dass diese typische Wüstenerscheinung durch specifische Wüstenprocesse veranlasst worden sei. Wenn die Bildung von Dünensand eine Erscheinung wäre, die im ausschliesslich causalen Zusammenhang mit verwittertem Sandstein stände, dann müsste sich auch ein örtlicher Zusammenhang beider Thatsachen immer nachweisen lassen, wir dürften in der Wüste nur in Sandsteingebieten Sanddünen finden, wir müssten auf der ganzen Erdoberfläche Sanddünen überall da beobachten, wo Sandsteine anstehen. Das ist aber keineswegs der Fall, und statt dessen finden wir Sanddünen so ungemein häufig vergesellschaftet mit Wüstenklima, unabhängig von der geognostischen oder topographischen Beschaffenheit des Bodens.

Aus diesen leicht zu beobachteten Thatsachen schliessen wir, dass die Entstehung des Wüstensandes von specifischen Wüstenprocessen in erster Linie abhängig ist, dass Kräftewirkungen des Wüstenklimas vorliegen. Ich bin weit entfernt zu behaupten, dass die oben geschilderte Zerbröckelung krystallinischer Gesteine die einzige Quelle für die Bildung des Wüstensandes ist, landeinwärts wandernde Küstendünen liefern sicher-

lich Wüstensand, erodierende Uâdibäche bilden Sandsedimente, und ich habe ausdrücklich hervorgehoben, dass in gewissen Wüstengebieten der Sandstein zu Wüstensand zerfällt. Allein der Nubische Sandstein ist nicht das herrschende Gestein Nordafrikas. Wenn man die Übersichtskarte betrachtet, welche Gürich[1]) von der Geologie Nordafrikas giebt, so fällt die weite Verbreitung der krystallinischen Gesteine in die Augen. Ausserdem aber mag man nicht vergessen, dass die Bildung des Nubischen Sandsteins ein Problem ist, das eng zusammenhängt mit dem von der Bildung des Wüstensandes, und wenn wir uns in jene längst vergangene Zeit zurück versetzen, wo noch kein Nubischer Sandstein existierte, dann haben wir ein Nordafrika, das ausschliesslich aus krystallinischen Gesteinen gebildet wurde, und hier entsteht die Frage, woher kommt der Quarzsand?

In einem Gebiet, das nur aus Sandstein besteht, mag immerhin der Wüstensand aus demselben entstehen, aber wir befinden uns nicht mehr auf dem Boden der Thatsachen, wenn wir diese localgültige Beobachtung auf ganz Nordafrika übertragen. Kein zweiter Denudationsvorgang in den nordafrikanischen Wüsten hat die Kraft und die Bedeutung wie der eben geschilderte, und da darf es uns nicht Wunder nehmen, wenn er Denudationsproducte schafft, deren Menge und allgemeine Verbreitung uns in Erstaunen setzt.

2. Form der Dünen.

»Der Sand[2]) bildet in der Wüste niemals eine Ebene, ebenso wenig als Wasser unter dem Einfluss des Windes. Dieselbe Ursache, welche auf dem Wasser Wellen erzeugt, erzeugt solche auf dem Sande. Mitten in der Wüste, welche in ihrem festen Grunde ungefähr eben ist, scheint die Form der langgestreckten, ganz regelmässig gestalteten Wellen, d. h. der Dünen, welche quer zur herrschenden Windrichtung stehen, die Regel zu sein. Am Rande der Wüste, wo die Nachbarschaft des Meeres, oder des Culturlandes die Regelmässigkeit der atmosphärischen Einflüsse stört, finden sich unregelmässige Dünenbildungen und Wellenformen ähnlich denen des festen

1) Gürich, Petermanns Mitth. Bd. 33, Karte 13.

2) Jordan, Kölnische Zeitung 17. IV. 1874 und Jordan, Zeitschr. für Vermessungskunde. Carlsruhe 1874. III, p. 373.

Bodens. In dem Gebiet der Unregelmässigkeit fanden wir Dünen von 5—10 Wegstunden Länge, ¼—½ Stunde Breite und bis zu 100 m Höhe; stets an der Westseite (Windseite) flach und convex, dagegen an der Ostseite concav und oben 30° geböscht. Oben ist ein scharfer, wie mit dem Messer geschnittener Grat, der jedoch keine gerade Linie, sondern wieder eine Wellenlinie zeigt, weil die ganze Düne auch der Länge nach Wellenform hat. Der Querabstand der einzelnen Dünen beträgt etliche Kilometer, und dazwischen findet sich häufig ein Thal mit festem Boden. Im eigentlichen Sandmeere aber finden wir eine Woche lang auch dabei Thäler aus Sand bestehend.«

Diese Schilderung von JORDAN ergänzt ZITTELS[1]) Bericht: »Bei 25° 11′ NBr. und 45° 20′ OL. von Ferro verwandelt sich die libysche Wüste in ein einziges undurchdringbares Sandmeer. Soweit das Auge reicht, folgt Dünenkette auf Dünenkette, alle entweder von N nach S, oder von NNW nach SSO streichend; die Zwischenräume sind mit Sand ausgefüllt und gleichfalls mit niedrigen Hügelreihen bedeckt. Wie ein plötzlich erstarrtes, von Stürmen aufgeregtes Meer liegt diese Sandmasse vor dem Beschauer, scheinbar fest und doch beweglich. Wenn der Wind auf dem Dünenkamm einen Schleier feinsten Sandes aufwirbelt und jeden scharfen Umriss verwischt, dann machen die lichtgelben, zuweilen 100 m hohen Gebirgszüge einen beängstigenden, geisterhaften Eindruck. Man hat das Gefühl, die ganze Sandmasse sei in Bewegung, um sich auf Einen zu wälzen, und alle Schreckensgeschichten vom Samum aus der Kinderstube drängen sich unwillkürlich auf.«

Dass die Dünenwellen eine Folge des Windes sind, darüber sind alle Beobachter einig, und nur für gewisse südafrikanische Dünen vermuthet STAPFF[2]), dass sie trocken gelegte marine Sandbänke seien.

ROLLAND[3]) schreibt: »Les éléments des dunes dans la Sahara algérienne proviennent de la désagrégation lente, mais continue, de ces terrains sous les influences atmosphériques. En l'absence d'humidité et de végétation, rien ne fixe les matériaux ainsi rendus libres

1) ZITTEL, Petermanns Mitth. Bd. 20, p. 185.

2) STAPFF, Verh. des Vereins für Erdkunde. Berlin 1887.

3) ROLLAND, Bull. Soc. de Géogr. Paris 1886, p. 213.

et meubles, lesquels sont intégralement livrés à l'action du vent; c'est en quoi le climat saharien joue un rôle décisif dans la formation des dunes. Le vent opère ensuite le tirage et le classement des éléments désagrégés; il roule les grains de quartz à la surface du désert et, à certains étroits determinés, les amoneelle à dunes: ces amoncellements de sable sont entièrement son oeuvre. Les chaines des dunes se trouvent surtout en relation avec le rélief du sol.«

Vier Ursachen sind es, welche die Bildung der Dünen bedingen: die Configuration des Bodens, die Kraft und Richtung des Windes und der Sandgehalt des Windes; und wenn bei einer gewissen constanten Grösse dieser vier Factoren die Dünen gebildet worden sind, so werden sie ihre Form so lange behalten, als diese Factoren constant bleiben.

»Die Empfindlichkeit des sandführenden Windes, schreibt Ehrenberg[1]), gegen jeden geringen Widerstand spricht sich überall aufs Deutlichste aus. Eine kleine, holzige, den Windzug störende Pflanze reicht hin um zu bewirken, dass in ihrer Nähe sich ein grosser Sandwall bildet. — Überall wo eine schroffe felsige Fläche dem Windzug entgegensteht, findet man vor dieser einen sie zuweilen an Grösse fast erreichenden Sandwall, welcher durch einen sich nie ausfüllenden Zwischenraum getrennt ist. Ferner überall, wo eine sanft aufsteigende Fläche dem herrschenden Windzug entgegensteht, und mit einer auf der anderen Seite wieder ablaufenden Fläche einen Gebirgskamm bildet, schlägt sich der Sand auf der dem Wind entgegengesetzten niederen Fläche, wegen Mischung bewegter und unbewegter Luft in um so grösserer Menge nieder.«

Sobald durch ein solches Hinderniss eine Dünenwelle gebildet ist, wirkt diese wieder als Sandfänger für den neu herbeigetragenen Sand, und so reiht sich Dünenzug an Dünenzug an, um endlich ein mit parallelen Dünen bedecktes Sandmeer zu bilden.

Der schöne Vergleich Jordan's von Meer und Sandwüste lässt sich noch insofern erweitern, dass man die Höhe der Dünenwellen als von der Stärke des Windes abhängig betrachtet. Gerade wie ein schwacher Wind die vorher glatte Oberfläche des Meeres nur

1) Ehrenberg, Beitrag zur Charakteristik der nordafric. Wüsten. Acad. d. Wissensch. Berlin 1827. Sep. p. 17.



kräuselt und mit niedrigen Rippen bedeckt, so erzeugt ein schwacher Wind auf den Sandfeldern der Wüste kleine Miniaturdünen, die sogenannten Rippelmarken s. Fig. 81. Systeme dieser, dem Geologen wohlbekannten Rippen bedecken nach einem Wind alle Sandflächen in derselben Weise, wie sich diese Rippelmarken unter Wasser am Strande des Meeres im sandigen Sedimente bilden.

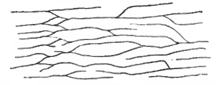


Fig. 81. Äolische Rippelmarken im groben Wüstensand bei el Golea.

Wie nur auf offener See der Sturm jene ungeheueren Wellen erzeugen kann, so finden wir die grössten und höchsten regelmässigen Dünen in den centralen Gebieten der Sahara, und nur local beobachtet man in den Randgebieten höhere Dünenberge (die Küstendünen sind keine Wüstenbildung, selbst wenn sie an einer Wüstenküste auftreten.) Vogel[1]) beschreibt einen 530 engl. Fuss hohen Sandberg am Natronsee von Fessan, und in den Granitgebirgen des Arabagebirges auf der Sinaihalbinsel[2]) sah ich einen Sandberg, dessen Höhe ich auf mehr als 500 Fuss schätzte.

Über den dritten Factor der Dünenbildung, die Sandführung des Wüstenwindes, liegen ebenfalls viele Beobachtungen vor. Bei Hadj-Hadjil erlebte Rohlfs[3]) bei Sonnenuntergang einen Sandsturm, der die ganze Karawane zollhoch mit Sand bedeckte. Am anderen Tage folgten Regenstürme. Zittel[4]) musste nach einem Sandsturm sein Zelt aus einer 26 cm hohen frisch gebildeten Sandschicht ausgraben. Dass ein Wind, der solche Sandmassen zu bewegen vermag, auch die Form der Dünen verändern muss, ist leicht begreiflich. Am 28. Januar 1874 beobachtete Jordan[5]) eine Abnahme der Dünenhöhe

1) Vogel, Petermanns Mitth. 1855, p. 245.
2) S. Korallenriffe der Sinaihalbinsel, Fig. 17.
3) Rohlfs, Petermanns Erg.-Hefte. 25, p. 11.
4) Zittel, Zeitschrift des Vereins für Erdkunde zu München. 1875, p. 258.
5) Jordan, Physik. Geogr. und Meteorologie der lib. Wüste. 1876, p. 206.

von 18 cm und in ein und einem halben Tag um 1 m. Während 1½ Stunden wurde am 4. März am Ostende des Bahr-bela-ma eine Düne von 20—30 m Höhe aufgeschüttet.

Während[1]) eines Sturmes am 26. Januar zeigte ein auf einer 15 m hohen Düne eingesteckter Palmstock, dass die Dünenhöhe um 5 cm abnahm, dagegen wurde am Lagerplatz eine 25 cm hohe Sandschicht aufgeworfen.

Jeder starke Wind, schreibt JORDAN[2]), schiebt die Dünen durch Überwehen von Sand um vielleicht 1 m vorwärts, allerdings kann dann ein entgegengesetzter Wind dieses Resultat wieder aufheben; dass aber die Dünen auch grössere Strecken durchwandern, liess sich an manchen Merkmalen beobachten.

BU DERBA beobachtete[3]), dass am 28. August 1858 in der Wüste nördlich von Ghât 6 m hohe Dünen langsam vom Winde fortbewegt wurden.

LENZ[4]) sagt: »In Bezug auf die Veränderlichkeit und Wandelbarkeit der Dünen mag bemerkt werden, dass der ganze Complex Igidi ein permanentes Gebirge von Quarzsandketten ist, also sich im Wesentlichen nicht ändert. Innerhalb desselben aber finden jedes Jahr Änderungen in Bezug auf die Configuration der Gebirgskämme und Lage der einzelnen Ketten zu einander statt. Dass dieses so ist, bemerkte ich häufig bei unserem Führer, der manchmal die Orientierung verlor; an Stellen, wo im Jahre vorher ein Sandberg gestanden war, trat jetzt nackter Felsboden zu Tage und umgekehrt.«

Demgegenüber berichtet ZITTEL[5]), dass gewisse Dünen seit langer Zeit als Wegweiser dienen, besondere Namen haben und also ihre Form und Stellung nicht wesentlich geändert haben können.

Fassen wir also diese Berichte zusammen, so kommen wir zu dem Resultat, dass der Wüstensturm kleine und grosse Veränderungen an gewissen Dünen hervorruft, dass gewisse Dünen zweifellos

1) JORDAN, Kölnische Zeitung, 14. April 1874.

2) JORDAN, Sammlung Gem.-Wissensch. Vorträge. Virchow-Holtzendorf X, No. 218, p. 26.

3) BU DERBA, Zeitschr. f. Allg. Erdkunde zu Berlin. 1860, p. 473.

4) LENZ, Timbuktu. II, 58.

5) ZITTEL, Palaeontographica. XXX, p. 139.

wandern, dass aber andere seit Langem ihre Form und Lage nicht verändert haben können.

Die Form der Dünen ist gewöhnlich die langgestreckter paralleler Kämme, welche nur wenig von einer geraden Linie abweichen, und gerade die Regelmässigkeit der parallelen Dünenkämme ist es, die sowohl in der libyschen Wüste, wie in der Igidi beobachtet wird. »Die drei folgenden Tage[1]) brachten uns Sanddünen, zwischen denen eine fast geradlinige breite Strasse sich der Karawane bietet. Diese Dünen sind höchst merkwürdig, sie bestehen aus dem feinsten und reinsten Quarzsand, der für jedes Schreibzeug recht wäre; eine der bedeutendsten fand ich durch barometrische Messung 50 m hoch. Auf dem Gipfel derselben sieht man den ganzen Horizont, mit Ausnahme ferner Gebirgsketten im Westen und Osten, ebenfalls von Dünen begrenzt. Der Wind treibt natürlich mit dem feinen Sande sein ununterbrochenes Spiel. Jede Düne hat eine dem Winde zugekehrte harte (leichter zu ersteigende) Seite und eine dem Winde abgekehrte weiche Seite, in welche man bis über die Knöchel einsinkt. Beide Seiten sind durch einen scharfen, wie mit dem Messer geschnittenen Grat getrennt. Man sollte meinen, dass jeder Sturm die grössten Veränderungen hervorbringt, und doch ist dies nicht der Fall. Die Hauptformen bleiben Jahrzehnte lang bestehen, so dass sie Namen erhalten und den Beduinen als Wegweiser dienen.«

Ausser solchen Systemen langgestreckter »gerader Dünen« findet man häufig isolierte rundliche Sandhügel, deren Entstehung durch wandernde Sandwolken leicht verständlich ist. Lesen wir doch bei Duveyrier vom 28. April 1861 1,30 Nachm.: »Une immense nuage de sable, rougeâtre, semblable à l'aspect d'un vaste incendie, passe à l'Est, à fleur de terre, en s'élévant vers le ciel. Sa marche du SO à NE est rapide comme celle d'un vent violent.«

Nach Rohlfs unterscheiden die Beduinen der libyschen Wüste folgende Arten von Dünen:

1) Jordan, Badische Landeszeitung 7. Februar 1874.
2) Les Touareg du Nord p. 40.

Ramle	Sandebene	
Ssif	langgestreckte	Sandhügel.
Kelb	runde	
Kibsch	ovale	

Aber wir finden noch eine Form von Dünen, welche ziemlich weit verbreitet und local ungemein häufig erscheinen. Sie sind halbmondförmig gekrümmt und erreichen dabei sehr bedeutende Dimensionen. Das zahlreiche Auftreten so sonderbar gestalteter Sandhügel hat Anlass zu vielen Hypothesen über ihre Entstehung gegeben,

In Mittelarabien heissen diese gekrümmten Dünen

Fuldjes,

während A. von Middendorf und im Anschluss an ihn F. von Richthofen den turkestanischen Namen

Barchan

eingeführt haben. Ich schlage vor, sie den »geraden Dünen« als »Bogendünen« gegenüberzustellen.

Die andersgestalteten Dünen treten sowohl zwischen dem Tsad-See und Borkû, als in der Pampa grande von Chile, in grosser Häufigkeit auch in Innerarabien und in Turkestan auf.



Fig. 82. Bogendünen in der Sahara nach Nachtigal, Sahara und Sudan II, p. 99.

Nachtigal[1]) beschreibt sie folgendermassen: »Schon in der Thalniederung selbst sahen wir hier zum ersten Male eigenthümlich geformte isolierte Sanddünen. Alle hatten dieselbe Form, dieselbe Orientierung und nahezu dieselbe Höhe. Sie waren selten über 15 m hoch, hatten einen sowohl in horizontaler als in verticaler Richtung convexen und nach NO gerichteten Rücken, der auf der Höhe durch

1) G. Nachtigal, Sahara und Sudan II, p. 68.

einen scharfen Rand von der steil abfallenden, im Grundriss concaven und nach SW gerichteten Seite abgesetzt war. Auf ausgedehnteren Ebenen erblickte man diese Bildungen in grosser Zahl und in den verschiedensten Abständen von einander. Es scheint unzweifelhaft, dass sie unter dem Einflusse des mit grosser Regelmässigkeit wehenden NO-Passates entstehen und wandern, und oft konnten mir später meine Gefährten, die als Wüstensöhne ein scharfes Auge für alle Unterschiede und Veränderungen des Terrains haben, an bestimmten Brunnen, einem einzelnen Baume oder anderen unbeweglichen Merkmalen in der Umgebung dieser Dünen beweisen, dass die Wanderungen derselben verhältnismässig schnell von statten gehen. Diese Schnelligkeit scheint eine verschiedene zu sein, je nachdem sie auf einer durchaus ebenen Serir vorrücken, oder durch Unebenheiten des Terrains aufgehalten werden, und je nachdem ihr Kernpunkt oder ihre Entstehungsursache ein Baum, Gebüsch oder unbedeutenderer Gegenstand ist. Ein alter verständiger Dâza-Mann aus Borkû behauptete, als Kind eine dieser Dünen in der Nähe der Oase Jin gekannt zu haben, welche jetzt etwa 16 km von der letzteren entfernt sei, und meine arabischen Gefährten zeigten mir später auf der Rückkehr von Borkû bei dem Brunnen der kleinen Hattîja Tungur eine solche, welche einen Baum verschlungen habe, der vor sieben Jahren noch etwa 20 Schritte davon entfernt gewesen sei. Diese beweglichen Dünen werden von den dortigen Arabern Ghard plur. Ghurûd genannt.«

Während hier in Centralafrika die gekrümmten Dünen isoliert auftreten, finden wir solche in grosser Zahl im mitttleren Arabien in der Nefûd, wo sie als Fuldjes bekannt sind und vielfach beschrieben wurden.

»Unmittelbar[1]) hinter Djuf führt der Weg zunächst über hohe Sanddünen, welche die beiden Hauptorte von dem Dorfe Kara trennen, dann folgt eine Strecke Hamada und an diese schliesst sich in schroffem Übergang die Nefûd, die berüchtigte rothe Sandwüste Arabiens. Vor allem erregt die eigenthümliche, aus weiter Entfernung auffallende Färbung das höchste Interesse, es ist wirklich glänzendes Roth, das sich im Morgenthau zu Carmoisin steigert. Die

1) Lady A. Blunt, Petermanns Mitth. Bd. 27, p. 215.

einzelnen Sandkörner sind viel grösser als diejenigen, welche an anderen Stellen die Oberfläche der Wüste bedecken, und es bedarf daher einer viel grösseren Gewalt, um eine Änderung in der Formation der Oberfläche hervorzubringen, so dass Sandstürme in der Nefûd überhaupt nicht vorkommen sollen.«

Weiter berichtet Lady BLUNT: »Die eigenthümlichste Erscheinung in der Nefûd sind unzählige Löcher in verschiedener Tiefe und Grösse, von den Arabern Fuldjes genannt, welche scheinbar in einem nicht zu entziffernden Chaos über die Wüste vertheilt sind. Die Fuldjes haben die Form eines Pferdehufes und zwar fallen die Seitenwände sehr steil ab; die Zehe ist stets nach W gerichtet und hier befindet sich die tiefste Stelle der merkwürdig gestalteten Löcher, während

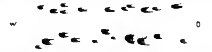


Fig. 83. Bogendünen (Fuldjes) in der Nefûd nach ANNE BLUNT, Pilgrimage to Nedj II, p. 242.

nach der Hacke zu die Tiefe allmählich abnimmt und schliesslich der Boden der Oberfläche der Wüste gleichkommt. Am Boden sind schmale Rinnen erkennbar, welche wie die Hornstrahlen an einem Pferdehufe sich in die Tiefe der Zehe ergiessen. Nur dort, wo der Sand eine Mächtigkeit von mindestens 80 Fuss erreicht, kommen Fuldjes vor; die kleineren haben nur eine Tiefe von 20 Fuss und eine Länge von 150 Fuss, die grössten, welche A. BLUNT gemessen hat, waren 280 Fuss tief und ½ Meile lang. Der Boden besteht bei den tiefsten Stellen gewöhnlich aus festem Gestein. Besonders eigenthümlich ist bei dieser Erscheinung, dass wie der Führer, der die Nefûd seit mehr als 40 Jahren bereist, behauptet, der Wind nie eine Änderung hervorbringen soll; in der Tiefe wachsen häufig Ghadabüsche, welche vom Sand nie verschüttet werden, ja selbst die Gebeine von Thieren und Menschen, die vor Jahren hier verdursteten, der Dung von Kamelen und Schafen, die hier weideten, sind vom Sande nicht bedeckt.« In ihrem Reisewerk[1]) hat Lady A. BLUNT Zeich-

1) Lady ANNE BLUNT, A Pilgrimage to Nedj. II, p. 242 u. 243.

nungen mitgetheilt, welche ich hier copierte und welche erstens deutlich zeigen, dass die Fuldjes s. Fig. 83 in Reihen angeordnet sind, dass zweitens ihr Querschnitt s. Fig. 84 sich nur wenig unterscheidet von dem geradliniger Dünen. Lady A. Blunt spricht sich a. a. O. Bd. I. p. 161 u. II. 242 dahin aus, dass die Fuldjes durch Wasser entstanden seien, obwohl sie auch bestimmt versichert, dass nach jedem Regen alles Wasser sofort versiegt. Ich halte diese Hypothese für schwer



Fig. 84. Durchschnitt durch Bogendünen in der Nefûd nach Anne Blunt, Pilgrimage to Nedj. II, p. 243.

beweisbar, denn die Anordnung der Fuldjes ebenso wie ihre Form entfernt sich zu sehr von allen Oberflächenformen, die wir in Erosionslandschaften zu sehen gewohnt sind.

Euting[1]), welcher ebenfalls die Nefûd bereiste, bringt eine Hypothese zur Erklärung der Fuldjes, welche vieles Bestechende hat. Wie beifolgendes hypothetische Profil Fig. 85 zeigt, geht er von der Thatsache aus, dass der Boden der Fuldjes oft aus anstehendem Sandstein besteht; dass dieselben zweitens im Längsschnitt den Charakter einer



Fig. 85. Hypothetisches Profil durch Bogendünen (Ka'arl) nach Euting, Verh. d. V. f. Erdk. Berlin 1886, p. 267.

Staffel zeigen und vermuthet, dass sie bedingt werden durch grosse Schichtenköpfe, deren Abfall dem Steilabfall der Vertiefung entspricht. Diese Anschauung leuchtet sehr ein, wenn man nur den Längsschnitt berücksichtigt; sobald man aber die horizontale Vertheilung der Fuldjes von Fig. 83 ins Auge fasst, so wird sie unhaltbar, und nur die verwickeltsten tectonischen Störungen wären im Stande, auf kurze Erstreckung eine solche Vertheilung abfallender Schichtenkopfstücke zu erzielen. Diese Theorie würde viel eher auf die parallelen Dünenzüge eine Anwendung finden können, allein da sie sich dort noch nicht

1) Euting, Verh. des Vereins für Erdkunde. Berlin 1886, p. 267.

nöthig gemacht hat, um die parallele Anordnung der Dünenzüge zu erklären, so meine ich, dass sie noch weniger naheliegend ist für die Erklärung der Fuldjes.

Ohne dass ich mich imstande fühlte, im Einzelnen die Gestalt der Fuldjes befriedigend zu erklären, will ich doch darauf hinweisen, dass sie in Reihen angeordnet sind, welche den benachbarten Dünenreihen bei Aalem und Hail parallel laufen (O.-W.), dass sie sich in einem Gebiete befinden, das mit anderem Sande bedeckt ist als der, welcher die geradlinigen Dünen bildet, dass gewöhnliche Sandstürme den Sand der Nefûd nicht zu bewegen vermögen.



Fig. 86. Bogendünen (Barchan) in Turkestan nach v. Middendorf, Ferghana, Taf. II, Fig. 1.

Alles das macht es wahrscheinlich, dass der eigenthümliche Sand der Nefûd, der nur durch besonders heftige Stürme bewegt werden kann, sich in anderer Weise zu Dünenwellen aufthürmt als der leichtbewegliche gewöhnliche Wüstensand, und dass die Fuldjes im Grunde genommen nichts anderes sind, als gekrümmte Dünen.

A. v. Middendorf[1]) beschreibt die Bogendünen folgendermassen: »Bei dem Dorfe Patar begegnete ich Anhäufungen von Sand, welche durch ihre bizarren, auf das Schärfste und Sauberste ausgeprägten, Formen mich auf das Höchste überraschten. Die beistehende Fig. 86 giebt die Grundform wieder, welche sich bei fast allen isolierten, aber auch bei einigen zusammenfliessenden Sandbergen zeigt. Ein Vergleich mit einem Hufeisen schien mir nicht ganz passend, da das eine parallele, sogar convergierende Lage der beiden seitlichen Zungenfortsätze voraussetzen würde, dagegen ich deren Axen immer einen beispielsweise rechten Winkel — mehr oder weniger genau — zwischen sich fassen sah, d. h. sie divergieren stets. Das Bild fiele ähnlicher

1) Einblicke in das Ferghanathal. Mém. de l'Acad. Imp. St. Pétersbourg XXIX, 1881, I. p. 30 f.



aus, wollten wir die Sandhügel mit der Form des Hufknochens vom Pferde vergleichen. Eine zweite Form unterscheidet sich von der vorigen nur dadurch, dass mitten zwischen den beiden Zungen sich eine kürzere und schroff abfallende dritte Zunge gebildet hat, die nahezu die Mittelrichtung zwischen den beiden anderen einhält. Endlich fand ich eine dritte Form, bei der die eine Zunge über ¼ Werst lang ausgezogen und zwar fast doppelt so lang war als ihr Widerpart; überdies standen beide Zungen zu einander ausnahmsweise unter einem Winkel von nur 70°.«

»Allen ist gemeinsam, dass sich der Hügel an seiner abgerundeten Seite ganz gemach unter einem Winkel von etwa 15—20° erhebt, dagegen die entgegengesetzte Innenseite stets steil und geradlinig abfällt. Dieser Schüttungswinkel des Sandes betrug etwa 60°. Die Zungenfortsätze fallen dagegen für gewöhnlich von einem flachen Scheitel nach beiden Seiten sowohl, wie zu ihrer Spitze hin mit sanfter Böschung gleichmässig ab.«

Meyen[1]) schreibt, dass der Sand in der Pampa grande von Chile sich in 2000 Fuss Höhe über dem Meere zu grossen sichelförmigen Haufen schichtet, welche in ungleicher Entfernung von einander abstehen, aber zu tausenden die Ebene decken, soweit das Auge sie verfolgen kann. Die Spannung der Sicheln betrug 20—70 Schritt, die Höhe der Sandberge nur 7—15 Fuss. Auf der äusseren convexen Seite ist der Abfall gering, auf der concaven 15—80 Grade.

Über die Entstehung der Bogendünen äussert sich A. v. Middendorf l. c. p. 32 folgendermassen: »Wo sich ein Hümpel, ein Artemisien- oder Grasbüschel hervorthat, da wurde auf der Windseite eines solchen Gegenstandes aller Sand weggeblasen und dieser lagerte sich im Schutze des Hindernisses auf der Unterwindseite in Gestalt einer Sandzunge ab, deren Richtung genau der Windrichtung entsprach; die auf der Oberfläche des Sandes sich bildenden Wellenzeichnungen (Rippelmarken) stehen aber senkrecht zur Windrichtung. Indem man beide Thatsachen auf die Bogendünen anwendet, kommt man zu der Ansicht, dass die convexe Seite der Bogendüne der Himmelsrichtung entspricht, aus welcher der bildende Wind kam. Es wird solches noch dadurch bestätigt, dass diese flachaufsteigende Böschung sich

1) Reise der Prinzessin Luise. II, p. 43.

unter dem Druck des Windes fest und gut betretbar lagert, während man auf der concaven Seite knietief in den Sand versinkt. Hat sich, durch irgend ein Hinderniss, ein rundlicher Sandhügel gebildet, dann wird der darauf einwirkende Wind s. Fig. 87 nach beiden Seiten unter einem Winkel von beiläufig 135° abgelenkt und fegt in dieser Richtung die Zungenfortsätze an, deren verschiedene Ausbildung durch ungleichmässig wechselnde Stärke des Windes, durch Verschiedenheit des Sandes an Korn, Grösse und Form, an specifischem Gewicht, bedingt wird.«

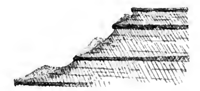


Fig. 87. Sanddünen auf felsigem Kern bei Sih'-el-Touil nach Mission de Chadamès, Fig. XVI, p. 252.

Meiner Ansicht nach erklärt diese Hypothese in völlig befriedigender Weise die sonderbare Form der Bogendünen, und spricht dafür, dass dieselben nur durch bestimmte Sand- und Windverhältnisse bedingt sind, und mit ursprünglichen felsigen Bodenformen oder Erosionserscheinungen keinen Zusammenhang haben.



Fig. 88. Sanddüne mit felsigem Kern bei Chadames nach Mission de Chadamès, Fig. XXVI, p. 285.

Ich hätte im Anschluss hieran der Ansicht zu gedenken, welche von VATONNE[1]) ausgesprochen worden ist, und welche annimmt, dass jeder Düne ein Bergzug entspricht, aus dessen Zerstörung die Düne hervorgegangen ist:

»On a dans la région de Sih-el-Touil la coupe (Fig. 88) qui assigne nettement l'âge géologique du plateau de sables et de dunes

1) Mission de Chadamès, p. 253.

qu'il supporte et donne une preuve, selon nous irrécusable, de la formation des dunes sur place par la décomposition et la désagrégation des roches de la craie blanche, grès quartzeux et gypses sableux, puis par la dissolution des éléments solubles ou la séparation des matières d'après leurs densités différentes ou la différence de grosseur des fragments.«

Die dort gegebenen trefflichen Bilder Fig. 87 u. 88 lassen meines Erachtens nur erkennen, dass sich Dünensand um einen felsigen Kern ebenso gut herumlagern kann, wie er sich auf einer ebenen Fläche auflagert. Und die Existenz eines sandfreien Hügels inmitten einer Gruppe hoher Sandberge, wie sie Fig. 20 wiedergiebt, scheint mir zu lehren, dass Felsen, ebenso wie irgend ein anderes Hinderniss, Veranlassung zu Dünenbildung geben, dass aber nicht dieser Felsen selbst den Kern der sich an ihm bildenden Düne liefert, sondern dass er nur den Sand aufhält, der sich vor oder hinter ihm dann in grösserer Masse aufschüttet.

3. Das Wandern der Dünen.

Haben wir bisher die Form und die individuellen Veränderungen der Dünen in der Wüste betrachtet, so müssen wir uns jetzt ein Urtheil darüber zu bilden suchen, ob die Dünen wandern? wo und warum dies geschieht?

Viele Reisende neigen sich der Meinung zu, dass die Formen der Dünen in der Wüste wohl durch Wind und Sturm im Kleinen verändert werden können, dass aber die Dünengebiete als solche in der Wüste localisiert sind. Rolland[1]) spricht es klar aus: »Les grandes dunes ne sont pas mobiles, sous l'action du vent qui les a formés, il y a un va-et-vint du pulvérulin sableux qui balage sans cesse le désert entre les dunes.« Doch fügt er hinzu: »Les grandes dunes marchent, mais très lentement.«

Einige Reisende erwähnen freilich Thatsachen, welche für eine sehr weite Wanderung der Dünen in der Wüste sprechen.

A. von Middendorf[2]) berichtet: »dass eine Poststrasse durch

1) Rolland, Bull. Soc. d. Géogr. Paris 1886, p. 213.

2) Mém. de l'Acad. Imp. d. St. Pétersbourg. XXIX, I, p. 33.

den Ausläufer einer Bogendüne verlegt wurde. Dort, wo sie noch vor Kurzem durchführte, war über Nacht vom Winde ein 25 Fuss hoher und 80 Fuss breiter Sandhaufen aufgeworfen worden, so dass man gezwungen wurde, das Hinderniss unter rechtem Winkel zu umfahren.«

»Bemerkenswerth[1]) ist die Reinheit des Sandes in der Igidiregion, der fast ausschliesslich aus bis hirsekorngrossen Körnern von Quarzsand besteht, mit einzelnen kleinen Hornblendekrystallfragmenten. Der Sand liegt auf einem lichtblauen Tegel auf. Die Lage der einzelnen Sanddünen ändert sich von Jahr zu Jahr.«

So erzählt EHRENBERG[2]): »Ein von Dr. VOGEL auf seiner Reise nach Murzuk in der Wüste gesammelter Staub bestand aus Quarzkörnern, die mit Rotheisenoxyd überzogen waren. Darin fanden sich Polythalamien des Mittelmeeres.« Ähnliche Sande untersuchte v. HAUER in Proben RUSSEGGER's von mehreren Punkten Nordafrikas. Dieser Sand scheint somit ins Innere gewebter (Küsten-)Dünensand zu sein.

Ähnliche Thatsachen scheint DE LAUTURE[3]) im Auge zu haben, wenn er sagt: »Si, comme il ya lieu de le croire, l'Afrique est un des plus ancients continents du monde actuel, on ne doit pas être surpris de retrouver ces dunes à une énorme distance de la côte.«

Dass man daraus nicht schliessen darf, alle Wüstendünen seien ehemalige Küstendünen, darüber habe ich schon oben gesprochen, aber immerhin ist es auffallend, wenn Forscher mit solcher Entschiedenheit für das Wandern der Dünen eintreten. In Afrika fehlen uns freilich die historisch beglaubigten Daten über ein solches Vorrücken der Sandhügel, und für gewisse Theile der Wüste wird von hervorragenden Beobachtern versichert, dass die Dünen lange Zeit constant waren, aber wir dürfen nicht generalisieren und darauf hin das Wandern anderer Dünen läugnen, von denen andere Beobachter berichten, dass sie ihre Lage im Laufe eines Jahres wesentlich verändert haben. Wir dürfen das um so weniger thun, als wir an den Küstendünen Ostpreussens ein ziemlich bedeutendes Vorrücken be-

1) LENZ, Timbuktu. II, p. 59.

2) EHRENBERG, Zeitschr. f. Allg. Erdkunde, Berlin. I, p. 246.

3) DE LAUTURE, Le Désert et le Soudan. Paris 1853, p. 32.



obachten können. Die Abhandlung BERENDT's[1]) enthält eine Reihe von Thatsachen über diesen Vorgang, und die Trümmer von Kunzen, im Anfang dieses Jahrhunderts auf der Innenseite der Kurischen Nehrung gelegen, jetzt durch die wandernde Düne auf die Westseite gelangt, sind ein sprechendes Beispiel dafür, dass selbst 200 Fuss hohe Dünen wandern können.

»Der Dünensand[2]) auf Sylt fliegt ins Land hinein und die ganze Dünenkette ist in einer fortwährenden Wanderung begriffen. Im Jahre 1757 wurde die Kirche des Dorfes Rantum abgebrochen, weil die Dünenkette sie erreicht hatte. Im Jahre 1791 oder 1792 war die ganze Dünenkette über die Ruinen der Kirche weggeschritten, sie lagen vom Sande befreit am Ufer des Meeres und wurden bald verschlungen; die Stelle wo sie damals lag ist jetzt, kaum 50 Jahre später, gegen 700 Fuss vom Ufer und das Meer hat dort eine Tiefe von 12 Fuss. Die zweite Kirche von Rantum ist auch schon längst unter den Dünen verschwunden; dasselbe ist der Fall mit dem Dorfe Niblum, von dem die letzten Spuren noch am Strande liegen.«

Ich sagte oben, dass die Bildung einer Düne von vier Factoren abhängig sei: von der Configuration des Bodens, von der Richtung und Stärke des Windes und endlich von dem Sandgehalt des Windes. Nehmen wir diese vier Factoren als constant an, so ist selbstverständlich, dass die Form und Stellung der Düne ebenfalls constant ist. Solange derselbe Wind weht, solange der Wind genau so viel Sand herbeiträgt als er vom Dünenkamm abbläst, solange behält die Düne ihre Lage und Form — wie ein Wirbel im Fluss constant bleibt, solange die Bildung des Flussbettes, die Flussgeschwindigkeit, und die Wassermenge dieselbe ist.

»Wie[3]) die Schneewehen im Hochgebirge oder im hohen Norden jeden Winter wieder an ungefähr derselben Stelle so regelmässig zusammengetrieben werden, dass man Wege und Eisenbahnen durch permanente Schirme gegen sie schützen kann, so bleibt auch das Chaos der Wüstensandwehen ziemlich unverändert, solange dieselben Winde anhalten.«

1) BERENDT, Die Geologie des Kurischen Haffs und seiner Umgebung. Schriften K. physik.-ökon. Ges. zu Königsberg, 1868, p. 216.

2) FORCHHAMMER, Neues Jahrbuch f. Mineral. 1841, p. 27.

3) STAPFF, Petermanns Mitth. Bd. 33, p. 207.

Auf diesen Schlusssatz Stapff's aber möchte ich Gewicht legen und ihn dahin ausführen: »Solange die Bedingungen, welche eine Düne bildeten (Bodengestalt, Windrichtung, Windstärke, Sandzufuhr) dieselben bleiben, solange beharrt die Düne an ihrer Ursprungsstelle; so bald eine dieser Bedingungen sich verändert, verändert sich und wandert die Düne.«

Ich finde denselben Gedanken auch in von Bary's Worten[1]: »Es ist höchst wahrscheinlich, dass jene Dünen, die Niederungen bedecken und rings von höherem Terrain eingeschlossen sind, unverändert ihr Volumen und ihre Stelle beibehalten, solange nicht andere meterologische Verhältnisse eintreten.« Und da wir sicher annehmen dürfen, dass in gewissen Theilen der Sahara diese »meteorologischen Verhältnisse« constant bleiben, in anderen Gebieten aber Veränderungen unterworfen sind, so darf es uns nicht Wunder nehmen, wenn ein Theil der Reisenden von constanten, ein anderer Theil von wandernden Dünen berichtet.



Fig. 89. Geschichtete Structur einer Düne.

Um den Vorgang bei der Bildung und dem Wandern einer Düne hier zu schildern, wollen wir von folgenden Voraussetzungen ausgehen: Ein Wind von constanter Richtung und Stärke transportiere periodisch bald feinen, bald gröberen Sand[2]) und die Configuration der Landschaft biete Hindernisse dar, an denen sich kleine Sandhügel ansetzen müssen:

Der Flugsand häuft sich zu einer immer höher und breiter werdenden Düne auf, welche aus abwechselnd feineren und gröberen Lagen besteht, wie dieses aus obenstehender Fig. 89 leicht ersichtlich ist.

1) von Bary, Zeitschr. d. Vereins für Erdkunde zu Berlin 1876, p. 197.

2) Man könnte ebenso gut annehmen, dass der Wind von abwechselnder grösserer und geringerer Intensität sei, und demzufolge zu gewissen Zeiten nur feinen, zu anderen Zeiten gröberen Sand transportieren könne.

Solange mehr Sand durch den Wind herbeigetragen, als von dem Dünenkamme abgeblasen wird, solange wächst die Düne.

»Jede[1]) Düne (an der Jütländischen Küste) ist geschichtet und zwar so, dass sie eine Schichtnngsfläche nach der Neigung gegen den Wind hat, also im Ganzen unter einem Winkel von 5° gegen Westen geneigt, die zweite Schichtungsfläche fällt unter einem Winkel von 30° im Ganzen gegen Osten. Diese Schichtung zeigt sich in der Abwechslung von feinen und groben Körnern, deren Absetzung durch die verschiedene Stärke des Windes bestimmt wird. Es ergiebt sich also, dass die Schichtnng nicht immer ein Zeichen einer Wasserbedeckung ist, indem hier 100 Fuss über dem Niveau des Meeres Schichten gebildet werden. Nicht selten trifft man hoch in den Dünen Muschel- besonders Austernschalen, die vom Austernfresser dahin geschleppt sind.«

Sobald die herbeigetragene Sandmenge der abgetragenen gleich wird, tritt ein Stillstand im Dünenwachsthum ein, welcher unter Umständen lange andauern kann.

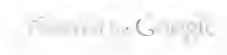


Fig. 90. Structur einer wandernden Düne.

Wenn aber jetzt einer der als constant angenommenen Factoren der Dünenbildung wechselt, wenn der Wind stärker, die Sandzufuhr geringer wird, wenn durch die Form der aufgeschütteten Dünen die Configuration des Geländes so verändert wird, dass die Bahn der Luftströmungen sich ablenken lässt, dann muss auch eine Veränderung in der Form der Düne entstehen. Nehmen wir also an, dass sich die Zufuhr von Sand zur Düne verringert, dass die Abtragung aber constant bleibt, so wandert die Düne und zwar geschieht das Wandern um so rascher, je grösser der Fehlbetrag zwischen gebrachtem und abgetragenem Sande ist.

Wir haben nun aus den Schilderungen von Zittel, Jordan, Lenz

1) Forchhammer, Neues Jahrbuch f. Min. 1841, p. 7.



oben ersehen, dass die Dünen entweder auf festem Felsen aufgeschüttet sind, so dass derselbe in den Dünenthälern zu Tage tritt, oder aber die Düne sich auf sandigem Untergrund erhebt. Nehmen wir jetzt den letzteren Fall an, und setzen wir ausserdem voraus, dass die Basis der Düne nicht mit wandert, sondern nur der hervorragende eigentliche Dünenkamm, so erhalten wir auf einem späteren Stadium umstehenden Durchschnitt s. Fig. 90.

Ich selbst hatte dieses Stadium im Vorrücken einer Düne nicht beobachtet und war um so freudiger überrascht, als ich es bei A. VON MIDDENDORF[1]) beschrieben und abgebildet fand: »Ich stiess in der Kokanwüste auf einen Sandhügel, der mit papierdünnen, aber auch bis 1/4 Zoll Dicke erreichenden Streifen in verschiedenen Abständen von einander, horizontal umbändert, gleichsam abgestuft war.

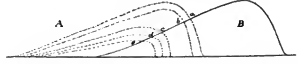


Fig. 91. Bildung einer wandernden Düne in Ferghana nach v. MIDDENDORF.

Diese fünf Streifen ergaben sich als Lösstünche, welche in das Innere des Hügels hineinschoss. Der beistehende Holzschnitt Fig. 91 zeigt, wie ich mir diesen merkwürdigen Fall erkläre. Der Umriss des Hügels *B* zeigt den seitlichen Profildurchschnitt der Dünentypen, so wie ich ihn vorfand. Er hatte früher in *A* gestanden und war anfangs ohne seine Stelle zu ändern, im Laufe der Jahre gewachsen. Während dieses Wachsthums, welches die punktierten Linien darstellen, hatte es sich fünfmal (*a*, *b*, *c*, *d*, *e*) ereignet, dass stärkere Ablagerungen von Lössstaub aus der Atmosphäre den Hügel bedeckten, und darauf angefeuchtet, zu einem Überguss über die Sandoberfläche krustend zusammenflossen. Nachdem nun ein heftiger Sturm diese Krusten nacheinander durchbrach, den Sand in Bewegung setzte, und der Hügel von *A* nach *B* wanderte, guckten, als ich dazu kam, nur die Schichtenköpfe der früheren Lössübergüsse, Streifen darstellend, aus dem Sande des Hügels *B* hervor, unterhalb *e* aber zeigte sich der

1) Mém. de l'Acad. Impér. de St. Pétersbourg. XXIX, I, p. 91.

Streifen einige Finger breit, weil hier der gegenwärtige Umriss mit dem früheren zusammenfiel.«

Während diese erste Düne vorwärts wandert, wirkt die bestehende Düne als Damm, vor dem sich eine zweite Düne bildet. Es verläuft der Vorgang wie oben beschrieben, nur mit dem Unterschiede, dass diese zweite Düne auf einer diagonal geschichteten Sandbank aufruht, der Basis der vorhergehenden Düne.

Indem sich dieser Vorgang öfters wiederholt, indem immer neue Dünen hinter die wandernden Sandberge treten, bald ihre Basis beim Weiterwandern zurücklassen, bald dieselbe mit sich fortnehmen, entsteht allmählich eine Sandablagerung von beifolgendem Bau s. Fig. 92. Und es dürfte für den Leser eine leichte Aufgabe sein, die Geschichte beistehenden Profils nach dem Gesagten zu entziffern.



Fig. 92. Sandstein mit Diagonalschichtung entstanden durch wandernde Dünen.

Wenn wir lesen, dass zwischen den Dünenkämmen bisweilen ebene Sandflächen von über einem Kilometer Breite beobachtet werden, so macht uns diese Thatsache verständlich, dass auch dünne horizontal geschichtete Sandbänkchen zwischen den dickeren diagonal geschichteten Bänken vorkommen; und das gelegentliche Auftreten einzelner Gerölle oder kleiner Conglomeratschichten findet in dem früher Gesagten seine Erklärung.

Die so vielfach in Sandsteinen aller Formationen beobachtete »discordante Parallelstructur« oder besser »Diagonalschichtung« findet in dem eben geschilderten Vorgang ihre befriedigende Erklärung. Um eine allgemeine Formel dafür anzuwenden: entsteht Diagonalschichtung dadurch, dass ein aus concentrischen Schalen aufgebauter isolierter Hügel von Sediment seine Lage verändert und hierbei einen Theil seiner Basis am alten Orte zurücklässt. Dieser Vorgang kann sich selbstverständlich am Meeresgrunde ebenso leicht vollziehen, wie auf dem festen Lande, aber da am Boden des Meeres Sediment-



hügel von steilem Böschungswinkel nur selten beobachtet werden, da im Gegentheil die Sedimente am Meeresgrunde sich gewöhnlich über weite ebene Flächen in horizontalen Schichten ausbreiten, — da andererseits ebene Sedimentflächen in den sandbedeckten Regionen des Festlandes zu den Ausnahmen gehören, und statt dessen Dünenhügel mit einem oft sehr steilen Böschungswinkel die Regel sind, so kann sich Diagonalschichtung viel leichter auf dem Festland als unter Wasser bilden, und eine regelmässig und in grösserer Mächtigkeit diagonal geschichtete Ablagerung zeigt in diesen Eigenschaften Charaktere, welche auf eine Bildung des Festlandes hinweisen.



Fig. 93. Äolische Sandsteine im Uâdi Hascheb (südliche Sinaihalbinsel).

Ich richtete auf meiner Reise ganz besondere Aufmerksamkeit darauf, Durchschnitte durch Dünen zu sehen, aber meine Bemühungen waren vergeblich, bis ich nahe der Südspitze der Sinaihalbinsel, wenn nicht den Durchschnitt durch eine einzige Düne, so doch ein 10 Kilometer langes Profil Fig. 93 durch ein mit Flugsand erfülltes Thal studieren konnte. Das Uâdi Hascheb verläuft vom Râs Muhámmed zwischen Granitgebirgen in nördlicher Richtung und erreicht eine bedeutende Höhe über dem Meeresspiegel. Dieses Thal ist erfüllt mit weissem Flugsand, welcher wie der Schnee im Hochgebirge alle Vertiefungen und Runsen ausfüllt und sich lebhaft abhebt von den dunkleren Granitgesteinen. In alle Seitenthäler dringt die Sanddecke hinein, alle Spalten überdeckt sie und lässt sich in dieser

Ausbildung bis in eine Meereshöhe von über 220 m verfolgen. Rundgeblasene Quarzgerölle, auch Granitfragmente und Porphyrgesteine sind gelegentlich auf den Flugsand herabgefallen und markieren die Thalsenkungen, an manchen Stellen fehlen solche, an anderen sind sie, vielleicht infolge eines Gewittergusses, zahlreich zusammengetragen. Lange Zeit mag es schon her sein, dass dieses Thal von wandernden Dünen durchzogen und durch Sandstürme erfüllt wurde, denn der einst lockere Sand ist in den tieferen Lagen verkittet zu einem mässig festen Sandstein. Einer jener Gewittergüsse von eng begrenztem Verbreitungsgebiet, wie ich sie in einem früheren Abschnitte geschildert habe, war im Stande sich in diese locker verkitteten Sandmassen hineinzugraben, und ein 10 m tiefes und 10 km langes, continuirliches Profil zu entblössen. Seitdem scheint es lange Zeit hier trocken gewesen zu sein, denn an den Wänden dieser angeschnittenen Sandsteinfelsen sieht man überall die Spuren der Deflation und nirgends die der Erosion. Die Wände sind von jenen Säulengängen durchbrochen, welche wir oben kennen gelernt haben, alles ist vom Sande corrodiert und vom Winde ausgeblasen.

Da, wo man die liegenden Schichten des Sandsteins sehen kann, beobachtet man zuunterst eine Schicht grobes Uâdigerölle; dieses Conglomerat, ebenso wie die untersten Sandsteinlagen sind parallel der Thalsohle und mit derselben oft merklich geneigt. Die darüber folgenden Sandsteinschichten bestehen aus einzelnen bis 1½ m dicken Bänken, zwischen denen dünne Lagen von Uâdischotter mehrfach bemerkbar sind, ein Zeichen dafür, dass die Sandablagerung im Uâdi Hascheb gelegentlich durch einen Gewitterguss unterbrochen wurde, welcher auf dem Sand eine Schicht von Geröllen ausbreitete.

Alle die Sandsteinbänke sind von wechselnder Mächtigkeit und keilen häufig vollkommen aus; was aber an ihnen am Bemerkenswerthesten ist, das ist die typische Diagonalschichtung, welche sie alle durchgehends zeigen. Jede einzelne Bank wird aus mehr oder minder geneigten Schichten zusammengesetzt, die ihrerseits von der Begrenzungsfläche der Bank geradlinig abgeschnitten werden.

Meine erste Aufgabe war es, zu untersuchen, ob nicht diese Sandsteine unter Wasser abgelagert worden seien. Allein ich überzeugte mich leicht von dem Gegentheil. An einen Binnensee war

nicht zu denken, und gegen eine marine Bildung sprach die Beschaffenheit des Sedimentes. Ich war fünf Tage lang am Ufer des Meeres gereist, und hatte zur Genüge jenen sandigen salzgetränkten Schlamm kennen gelernt, welcher in einem, mehrere Kilometer breiten Gürtel die »Lehmwüsten« der südlichen Sinaihalbinsel bildete; ich hatte während dieser Tage auch viele Stunden im Meere Sedimentstudien gemacht und gründlich beobachtet, welche Ablagerungen an den Küsten des Râs Muhámmed gebildet werden. Keine einzige dieser Bildungen hatte eine entfernte Ähnlichkeit mit den Sandsteinen des Uâdi Hascheb.

Dagegen stimmte die Structur dieser Sandsteine so sehr mit den Beobachtungen überein, die ich dort und an anderen Orten bei sanderfüllten Wüstenthälern gemacht hatte, dass ich mich davon überzeugte, dass die Sandsteine des Uâdi Hascheb eine äolische Bildung seien.

4. Spuren im Sand.

Nachdem wir die grösseren Züge in der Physiognomie der Sandwüsten kennen gelernt haben, müssen wir noch der kleineren Oberflächenformen gedenken, die zu den weit verbreiteten Erscheinungen gehören und eine, wenn auch untergeordnete, geologische Bedeutung besitzen.

Ich habe vielfach Gelegenheit gehabt Wüstengebiete zu durchreisen, welche nahe der Küste lagen. Buchten des Rothen Meeres greifen weit in die echte Wüste hinein, und der Blick des Geologen erkennt, dass auch während der Tertiärzeit rein marine Gebilde weit hinein in die Wüste getragen wurden. Infolge dieses häufigen Ineinandergreifens der Wüste und des Meeres sehe ich mich veranlasst hier auch mancher Erscheinung zu gedenken, die eigentlich dem Meere angehört, die aber doch, eingeschaltet zwischen Wüstenerscheinungen, oft weit ab vom jetzigen Strande zur Beobachtung gelangt und demzufolge bei der Beurtheilung geologischer Thatsachen mit in Rechnung gezogen werden muss. Zu den verbreitetsten Erscheinungen gehören die von den Engländern »rippelmarks« genannten Streifen im Sand, die ich als »Rippelmarken« bezeichnen will, denn der übliche Ausdruck »Wellenspuren« enthält ein, nicht immer zutreffendes, Urtheil über die Entstehung dieser Gebilde.

Man beobachtet in der Wüste solche Rippelmarken Fig. 81 u. 94 von allen Dimensionen und von sehr verschiedenartiger Form. Bald sind sie 2 cm bald 1 m breit, bald sind sie scharfkantig, bald von rundlichem Querschnitt, bald sieht man lange parallele Linien, die sich nur selten vergabeln, bald zweigt sich alle 20 cm ein schmaler Ast ab um sich umzubiegen und dem Hauptstamm parallel zu laufen. Alle Typen sympodialer oder dichasialer Verzweigung kann man beobachten, und obwohl ich ein reiches Vergleichsmaterial mariner und äolischer Rippelmarken beobachtet habe, so ist es mir bisher nicht gelungen, einen durchgreifenden Unterschied zwischen beiden aufzufinden. Ich erwähne das, weil häufig die Anwesenheit von Rippelmarken auf Sandsteinflächen als ein Beweis für marine Bildung des Sandsteins angesehen worden ist; ein solcher Schluss ist unzuverlässig. Einigemal habe ich beobachtet, dass in der Wüste die schwereren Sandkörnchen auf dem Kamm der Rippeln, die feineren und leichteren in den Vertiefungen lagen; ob solches ebenso unter Wasser entsteht, habe ich noch nicht verfolgen können.

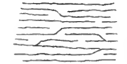


Fig. 94. Äotische Rippelmarken im feinen Wüstensand.

Fig. 95. Richtung der Strömungen bei der Bildung von Rippelmarken nach G. H. Darwin.

Diese Rippelmarken verlaufen immer senkrecht zum Wind, bezüglich zur Wellenbewegung, und bei veränderter Windrichtung wechseln sie ebenso auf dem Dünensand, wie sie ihre Richtung unter dem Wasser ändern, wenn die Wellen unter einem anderen Winkel auf die Küste stossen.

Die Bildung dieser Rippelmarken wurde von A. R. Hunt[1]), der physikalische Vorgang von G. H. Darwin[2]) genau untersucht, deren Abhandlungen ich folgende Daten entnehme: »Die Breite und Höhe der Rippeln ist gesetzmässig abhängig von der Korngrösse des Sandes

1) Proceedings of the R. Soc. London. XXXIV. April 1882, p. 1.

2) Proc. R. Soc. London, XXXVI. Nov. 1883, p. 18.

und der Stärke der Strömung. Gleichmässige Strömungen sind im Stande vorhandene Rippeln zu verlängern. Die Strömungen haben über einer gerippelten Fläche den auf Fig. 95 skizzierten Verlauf.

Nach Forel[1]) ist die Intensität der Strömungsbewegung nebensächlich und nur die Korngrösse des Sediments von massgebendem Einfluss für die Grösse der Rippeln.

Lyell[2]) hält Rippelmarken für eine Bildung am Boden eines 6—10 Fuss tiefen Wassers, und giebt als Ausnahme 70 Fuss tiefes Wasser an.

Nach Delesse[3]) sollen auf feinschlammigem Boden sogar in 188 m Tiefe Rippelmarken sich bilden können.

Bei allen diesen Beobachtungen wird aber viel zu wenig Gewicht darauf gelegt, dass Rippelmarken eine viel häufigere Erscheinung auf dem Festlande als wie unter Wasser sind, dass sie jedenfalls auf festländischen Sandablagerungen viel constanter beobachtet werden, während sie unter Wasser am Strande ebenso rasch verschwinden als sie gebildet wurden.

Es darf also der häufig gezogene Schluss aus dem Vorkommen von Rippelmarken an Gesteinsflächen, auf eine Strand-Bildung dieser Gesteine, nur mit grosser Reserve angewandt werden; Rippelmarken sind keine specifische Wassererscheinung.

Eine ebenfalls in der Wüste zur Beobachtung gelangende Spur rührt von Regentropfen her. Begreiflicherweise sind solche Regenspuren in der Wüste relativ selten, allein sie treten doch vielfach auf und können leicht erhalten bleiben, wenn zwischen dem Sand soviel Thonstaub enthalten ist, dass die Sandoberfläche durch Eintrocknen zusammenkrustet.

Die Mannigfaltigkeit der Formen von fallenden Tropfen sind durch A. M. Worthington[4]) beschrieben und abgebildet worden; in der Wüste sind mir zwei Haupttypen begegnet:

1) Archives des Sciences Physiques et Naturelles. Genève, 15 Juillet 1883.
2) Elements of Geology. 6. Auflage, p. 19.
3) Lithologie du fonds des Mers. 1871, p. 110.
4) Proceedings of the Royal Society. London. XXIV. Juni 1876, p. 265 f.

Wenn ein vorübergehender Platzregen auf sandigen Wüstenboden kurze Zeit herniederfällt, dann erzeugen die Regentropfen je nach ihrer Grösse verschiedene Spuren. Kleine Regentropfen, welche mit geringer Kraft auf den Sandboden gelangen, saugen sich rasch in die getroffenen Sandstellen hinein und bilden ein kleines kugeliges Knötchen feuchten Sandes, das wie ein Schrotkorn oberflächlich liegt und von den Sinaibeduinen geradezu als »Schrot« bezeichnet wird. Fallen dagegen grosse Tropfen, so bilden sie keine derartige kugelige Erhabenheit auf dem Sande, sondern sie schlagen eine halbkugelige Vertiefung in den Sand hinein, entsprechend der Form jener Abgüsse, die als versteinerte Regentropfen aus Sandstein verschiedener Perioden bekannt sind. Besonders schön aber werden diese Spuren, wenn der Regen auf eine Thonfläche herniedergeht.

Durch die Regengüsse am 4. April 1887 waren im Rinnsal des Uâdi Arabâh in der Galâlawüste grosse Mengen von Thonschlamm zusammengeschwemmt worden. Dieser Thonschlamm war dann zu einer 8 mm dicken Thonrinde zusammengetrocknet, und diese in polygonale Stücke zersprungenen Thonstücke bedeckten das Rinnsal, als am nächsten Tag ein kurzer Platzregen dort herniederging. Hierbei schlug jeder Tropfen ein so regelmässiges halbkugeliges Loch in den Thon, dass es aussah als ob er vielfach angebohrt sei.

Ein Stück dieses verhärteten Thonschlammes aus der Sohle der Uâdi Arabâh ist Taf. I, Fig. 7 dargestellt. Es ist bedeckt mit kleineren und grösseren runden Vertiefungen, welche von einem erhöhten gekerbten Rande umgeben sind.

Auch Organismen hinterlassen mancherlei Spuren, die in sehr grosser Häufigkeit in der Wüste beobachtet werden. Wenn man öde Sandflächen durchreitet, und keine andere Erscheinung das Auge zum Beobachten, den Sinn zum Nachdenken anregt, dann verfolgt man vom Kamelrücken herab mit Interesse die mannigfaltigen Spuren organischen Lebens, welche dem Sande eingedrückt sind und aus denen der Kenner manch' interessante Thatsache zu erschliessen vermag. Die Beduinen können stundenlang disputieren über die

Merkmale der Spuren, die vorausgehende Karawanen hinterlassen haben: die Zahl der Kamele, die Belastung derselben, ja sogar den Stamm dem sie angehören, Art und Ziel der Reise, Alles kann der geübte Blick aus den Spuren erkennen.

Hier sieht man die Spur einer Gazelle, welche in 3 m langen Sätzen den Karawanenpfad gekreuzt hat, dort ermahnt die Schlangenlinie, welche eine Sandviper hinterlassen hat, den Beduinen zur Aufmerksamkeit. Springmäuse, Vögel, Eidechsen, Käfer, alles hat seine charakteristische Spur, und wenn man des Morgens beim Erwachen Lederzeug angefressen, Nahrungsmittel gestohlen findet, so verräth die Spur der Hyänen oder der Fenneks und Schakale, welcher Art die Diebe waren.

Noch mannigfaltiger aber werden die Spuren, wenn man sich dem die Wüste bespülenden Meere nähert. Krabben und Einsiedlerkrebse wandern kilometerweit landeinwärts und hinterlassen dabei ihre Spur. Meeres- und Sumpfvögel gehen noch weiter in die Wüste hinein und stundenweit vom Strande kann man die grossen Zehen- und Schwimmfusseindrücke beobachten; mitgeschleppte Fischknochen kommen ebenfalls vor.

Über eine besonders interessante Spur berichtet VON BARY[1]: »Am Rande des Uâdi Minhero, wo das Flussbett felsig war und grosse Tümpel enthielt, fanden sich zahlreiche Fussspuren von Krokodilen, die im Schlamm so genau abgedrückt waren, dass man selbst den Schuppenpanzer der Sohle erkennen konnte. Der kleine Vorderfuss lässt eine fast sternförmige Figur zurück, während die des Hinterfusses der Fussspur eines Kindes nicht unähnlich sieht. An den drei äusseren Zehen beider Füsse fehlen die Krallen.«

Bekanntlich hat noch keines Reisenden Auge lebende Krokodile in der Wüste gesehen, allein diese Beobachtung VON BARY's beweist ihr Vorkommen ebenso sicher, wie das Auftreten von Chirotheriumfährten im bunten Sandstein uns von ausgestorbenen Thieren berichtet, deren Skelette noch unbekannt sind.

Endlich möchte ich noch der Medusenabdrücke gedenken, die ich zu tausenden am Strande des Rothen Meeres in nächster Nähe der Wüste beobachtete. Durch einen Sturm war Aurelia aurita in

1) Zeitschrift des Vereins für Erdkunde zu Berlin. 1876, p. 191.

ganz unglaublichen Mengen an den Strand geworfen worden. Die intensive Wüstensonne hatte rasch den von der Hochfluth bespülten Küstensaum getrocknet und auch die Gallertmasse der Medusen in ein dünnes Häutchen verwandelt, welches die von dem jetzt vertrockneten Medusenkörper abgegossene Form in allen ihren Feinheiten überzog. Tausende kleiner Einsiedlerkrebse waren dem Meere entstiegen und verzehrten alle die Medusenreste, welche noch nicht eingetrocknet waren, nur die ganz getrockneten liessen sie unberührt, und während sie mit ihren kleinen Beinchen im halbfesten Sand umherspazierten, bedeckten sie denselben mit unzähligen kleinen Löchern, die bei einem eventuellen Abguss der Sandoberfläche als Zäpfchen auf derselben erscheinen würden. Wenn das Meerwasser die mit Medusen bedeckte Sandfläche wieder erreichte, dann würden die Spuren gewiss allesammt wieder zerstört, die Medusengallerte aufgelöst, die Spur verwischt; wenn aber bei Landwind Dünensand hineingeweht werden würde, dann wären alle Bedingungen gegeben, um in das so entstehende Gestein wohlerhaltene Medusenabdrücke einzuschliessen.

Schon Voigt[1]) macht bei Beschreibung der Fährten im Buntsandstein darauf aufmerksam, dass es wahrscheinlicher ist, »diese Fährten seien zuerst durch einen trockenen Flugsand überdeckt, und nicht durch sandhaltige Gewässer überschwemmt worden, denn letztere hätten wohl schnell die Schärfe der Ränder verwaschen und die Abdrücke undeutlich gemacht.«

5. Äolische Oolithgesteine.

Als ich 4 Kilometer vom Strande des Rothen Meeres entfernt im Uâdi Dehēēse einen Sand antraf, der zum Theil aus kleinen Oolithkörnern bestand, die mit Wüstensand gemischt die Gehänge der Thalniederung bedeckten, da war meine erste Vermuthung, dass ein durch Verwitterung zerfallener oolithischer Kalkstein diese Oolithkörner geliefert habe. Allein ich überzeugte mich bald, dass das nicht der Fall war, denn nirgends fand ich ein oolithhaltendes Gestein, und

1) Neues Jahrbuch f. Mineral. 1836, p. 174.

beobachtete vielmehr, dass nach dem Meere zu die Oolithe an Zahl zunahmen, bis ich endlich hart am Strand eine Düne von etwa 1 m Höhe fand, die ganz aus gelblichen Oolithkörnern bestand[1]). Auf Taf. VII, Fig. 7 ist Oolithsand von der Mündung der Uâdi Dehēēse dargestellt. Im Jahre 1888 studierte ich mehrere Tage lang die Rhede von Sues und sah zu meiner Überraschung, dass fast die ganze bei Ebbe entblöste, mehrere Kilometer breite Fläche aus Oolithsand besteht, der an manchen Bänken mit vortrefflicher Schichtung 60 cm tief aufgeschlossen ist. Ich überzeugte mich, dass die ganze Rhede von Sues ein grosses recentes Oolithlager sei.

Genau wie an der Mündung des Uâdi Dehēēse wird bei Ebbe ein grosser Theil dieses Oolithlagers trocken gelegt und der Wind weht leicht die kleinen Oolithkörner landeinwärts. Ich glaube, dass diese Oolithkörner viel weiter landein getrieben werden können, als ich am U. Dehēēse beobachten konnte, und dass sie unter günstigen Umständen einen grossen Procentsatz eines echten festländischen Wüstengesteins bilden können.

Diese Thatsache der Verschleppung eines im Meere entstandenen Sediments mitten hinein in festländisch entstandene Bildungen schien mir bedeutungsvoll genug, um sie in einem gesonderten Abschnitt zu behandeln.

Welch' weite Verbreitung solche äolisch aufbereitete, aber marin entstandene Oolithgesteine gewinnen können, darüber berichtet uns L. AGASSIZ[2]): »Double-headet shot key is a long crescent-shaped ridge of rounded knolls, not unlike, »roches moutonnées«, at intervals interrupted by breaks, so that the whole looks like a dismantled wall, broken down here and there to the water's edge. The whole ridge is composed of the finest oolithes, pretty regularly stratified, but here and there like torrential deposits (ich glaube es handelt sich um Diagonalschichtung); the stratification is more distinctly visible where the rocks have been weathered at the surface into those rugged and furrowed slopes familiarly known as »karren« in Switzerland. It is plain that we have here the same formation as on Salt Key,

1) Vgl. Korallenriffe der Sinaihalbinsel, p. 482. Diese Abhandl. XIV, Nr. X.
2) Bull. Mus. Comp. Zool. Cambridge. Nr. 13, 1869, p. 373.

only older, with more thoroughly cemented materials. The uniformity of the minute oolithes leaves no doubt that the sand must have been blown up by the wind and accumulated in the form of high dunes before it became consolidated.... The rock is very hard, ringing under the hammer, and reminds one of the bald summits of the Jura, such as Tête de Rang, near La-Chaux-de-Fonds. It is evident, that what is beginning on Salt Key has here been not only completed, but is undergoing extensive disintegration in Double-headed Shot Key, both by the action of atmospheric agents over the surface and by the action of tides and winds against the base of the key. —

»The stratification of the mainmass of these keys is very peculiar. Though evidently the result of an accumulation of oolithes thrown up by high waves, the beds are pretty regular in themselves, but slant in every direction towards the sea, showing, that they were deposited under the action of winds blowing at different times from every quarter. It is further noteworthy, that, while the thicker layers consist of oolithes readily distinguishable to the naked eye, there are at intervals thin layers of very hard, compact limestone, alternating with the oolithic strata, which have no doubt been formed in the same manner as the coating of the pot-holes.«

VI. Die Lehmwüste und das Wüstensalz.

Zu den Beweisen für die Existenz eines diluvialen Saharameeres wurde das Salz gerechnet, welches in der Wüste sich findet, und weite Strecken überzieht. Dass salzlose Regionen ebenso weit verbreitet sind, das wurde übersehen, und so blieb die irrige Meinung.

Ich traf im Uâdi Arabâh am Fusse der nördlichen Galâla eine Karawane, welche mehrere Tage weit geritten war, um dort Salz zu graben, und aus der mittleren Sahara wird uns dasselbe berichtet. Um so salzreicher sind die den Küsten nahe gelegenen Randgebiete, und hier ist die Existenz des Salzes leicht verständlich. Aber nicht so sehr die sandigen Wüstengebiete, als vielmehr die lehmbedeckten Niederungen sind durch ihren Salzreichthum ausgezeichnet.

»Der[1]) Schott Melrir ist von einer so weissen und reinen Salz-

1) Buvry, Zeitschr. f. Allg. Erdkunde. Berlin 1858, p. 226.

kruste überdeckt, dass er täuschend einem gefrorenen See gleicht. Die Berge des Kutiat Gartufa an seinem Rande enthalten Gyps und Landschnecken, aber keine Spur von Meeresmuscheln, so dass die Annahme, welche in ihm eine Meeresbucht findet, durchaus unrichtig ist.«

Abu el-Hadjadj[1]) berichtet: »Son voyage le porta à la saline qui se trouve au environs de Tôzeur. C'est une des merveilles du monde dont les historiens ont oublié de parler. La surface de cette saline a plusieurs milles d'étendue: on dirait du métal fondu ou du marbre poli. L'oeil trompé croit y voir une admirable transparence: on croit avoir devant soi un étang dont l'eau serait gelée. L'heure de la prière étant venue pendant que la caravane traversait le lac, on y fit la prière comme sur un tapis de camphre ou de cristal. Les pas et les traces des voyageurs durant cette marche s'étant succédé les uns aux autres jusque vers la moitié de la journée, il en résulta qu'une portion de la route, d'une étendue de près de cent coudées, vient à se défoncer. Toutes les personnes de la caravane qui se trouvaient attardées y furent englouties. J'ai constaté par moi-même, ajoute El-Tidjani, que si un homme appuyait le bout de sa lance à terre, cette lance s'y enfonçait tout entière, et que s'il avait le moyen de la pousser davantage, elle s'enfonçait plus avant encore; dès qu'il la retirait, le sol redeviendrait ce qu'il était auparavant, sans garder aucune trace.« Am 6. März 1857 passierte die Karawane eine Sebcha: »Aux vases mélangées de sel que nous avons traversées succède bientôt une croûte saline de plus en plus épaisse, dure et transparente comme du verre de bouteille et résonnant à certains endroits sous les pieds de nos montures comme le sol de la solfatara de Naples. Un puits béant, dont l'ouverture montre une eau verte et profonde, nous permet de nous rendre compte de ce singulier terrain: la croûte sur laquelle nous cheminons n'a qu'une épaisseur de quelques pouces et recouvre un abîme que nous essayons en vain de sonder. Un sac à balles qui nous sert de sonde disparaît avec toutes les cordes que nous ajoutons bout à bout sans que nous trouvions le fond. Couché à plat ventre

---

1) Capt. Roudaire, La Mission des Chotts. Rapport. Paris 1877, p. 38 u. 40.

sur le bord de la crevasse, je puise un peu d'eau pour la goûter: elle me paraît plus amère encore que celle de l'océan.«

»Jenseits[1]) der schwarzen Berge bis nach Murzuk ist der Boden überall mit einer Salzkruste überzogen.«

»Der[2]) Weg von Ghât nach dem Kokumen führt über eine weite Ebene, deren Lehmboden von einem regelmässigen Netz von Rissen durchzogen ist, worin sich stets die Form des Pentagons wiederholt. Diese durch Austrocknung entstandenen Figuren findet man sehr häufig in der Sahara, namentlich auf der Hamáda-el-homra, deren horizontale Flächen für die Bildung dieser Figuren besonders günstig sind.«

Andere Berichte wurden in dem Abschnitt »Charaktere der Wüsten« schon wiedergegeben.

Ich hatte auf meiner Reise durch die Sinaihalbinsel oft Gelegenheit, Sebcha und Salzthonwüsten zu passieren, jene in jüngerer Zeit vom Meere entblössten Flächen, welche so deutliche Spuren alten Meeresgrundes zeigen. Eine kleine Art von Cerithium fand ich dort in solchen Mengen auf dem Wüstenboden, dass die auf Taf. VII, Fig. 8 photographisch wiedergegebene Bodenprobe nicht etwa einen künstlich zusammengelesenen, sondern den wirklichen Habitus dieses Wüstenbodens wiedergiebt; er war thatsächlich mit Schnecken übersäet, und zwar in mehreren Kilometer Abstand vom Meeresstrande am Râs Sibylle.

Bei Thau oder Regen verwandelt sich die Sebcha in eine knetbare Thonmasse infolge des starken Salzgehaltes, bei trockenem Wetter trocknet die oberste Rinde 2—3 cm tief ein, es bilden sich jene vielfach erwähnten polygonalen Risse und der Boden der Lehmwüste erscheint wie parkettiert. Trocknet die Sonne noch länger, dann krümmen sich diese polygonalen Lehmplatten, die Lehmwüste erscheint wie mit Wellen bedeckt, aber in einiger Bodentiefe findet man stets die salzfeuchte Lehmmasse.

Ausgezeichnet gut drücken sich in dem halbtrockenen Sebchaboden die Fussspuren ein.

Die Regel ist, dass das Salz am reichsten in den Lehmwüsten

---

1) E. Vogel, Petermanns Mitth. Bd. I, p. 245.

2) von Bary, Zeitschr. des Vereins f. Erdkunde. Berlin 1876, p 175.

ist, und das gemeinsame Auftreten von Thon und Salz wird uns leicht verständlich, wenn wir beobachten, welches Sediment ein Meer am Rande der Wüste bei negativer Strandverschiebung zu Tage bringt.

An den Küsten des Rothen Meeres bin ich tagelang über Wüstenboden gereist, der durch seinen Reichthum an Litoralfossilien sich als jung entblösster Meeresboden kennzeichnete, auf dem Cerithium zu Millionen herumlagen, und weit landeinwärts traf ich denselben Salzthon wieder (s. die geol. Karte zu meiner Abhandlung über die Korallenriffe der Sinaihalbinsel). Alle Erscheinungen, welche von den Sebcha oder Schottflächen beschrieben werden, der breiige Boden, der den Fuss ausgleiten macht, die in polygonale Felder eingetrocknete Rinde, der Salz- und Gypsreichthum, war über weite Strecken zu beobachten. Und so erscheint es mir zweifellos, dass ein Theil der Lehmwüsten, die der heutigen Küste nahe liegen, weiter nichts ist, als eingetrockneter Meeresboden.

Schwieriger ist es aber, das Auftreten von salzigen Lehmwüsten im Innern der Sahara und in den Oasen der libyschen Wüste zu erklären.

Jeder, der eine Wüstenreise gemacht hat, wird sich mit Unbehagen des salzigen Wassers erinnern, das er wochenlang trinken muss, und an das man sich allmählich so gewöhnt, dass der erste Schluck Nilwasser gar nicht wie Wasser, sondern wie ein ganz besonderes Getränk schmeckt. Selbst solches Wüstenwasser, das der Zunge des Reisenden salzfrei erscheint, giebt mit Silbernitrat einen dicken Niederschlag. Ich fand im Uâdi Tagibe ein kleines Bächlein von so salzigem Wasser, dass sogar die Kamele es verschmähten, und meine Beduinen erzählten, dass nur ein Beduine von dem verachteten Gebelieh-Stamme solches Wasser trinken könne.

»L'eau[1]) de la plupart des puits creusés dans les terrains argilo-calcaires et gypseux du Sahara, qu'elle soit jaillante on fournie par l'infiltration du sol, contient du sel marin, du chlorure de magnesium, dans d'assez grandes proportions pour être désagréable au goût.«

»Alle[2]) Seen der Ammonsoase sind ohne Fische, weil das Wasser zu salzig ist, doch entbehren sie nicht jeden Lebens.«

1) COSSON, Regne végétale en Algérie. 1879, p. 45.
2) ROHLFS, Von Tripolis nach Alexandrien. II. p. 85.

Eine Analyse des Wassers des Ued Biskra ergab nach Dubocq:[1])

Wasser und organische Theile	997,764
Kochsalz	0,878
Bittersalz	0,474
Schwefelsaure Soda	0,280
Schwefelsaurer Kalk	0,448
Kohlensaurer Kalk	0,156
	1000,000

also so ziemlich alle wesentlichen Bestandtheile des Meerwassers.

Wir müssen uns erinnern, dass die Sahara zum Theil aus Gesteinen besteht, welche zweifellos marinen Ursprungs sind; und wenn wir auch die fossilleeren Sandsteine ausschalten, so bleiben noch gewaltige Flächen Nordafrikas mit echten marinen Sedimenten bedeckt. Die jüngsten Sedimente, die man in ausgedehnterer Verbreitung trifft, gehören dem Miocän an, also seit dieser Zeit ist Nordafrika vom Wasser des Meeres entblösst, seit dieser Zeit ist es Wüste gewesen.

Wüste aber ist gleichbedeutend mit Regenarmuth. Jedes marine Gestein enthält grosse Mengen Meeressalz in seinen Poren, und wie wir durch die Untersuchungen von Huyssen[2]) wissen, ist selbst in unserem regenreichen Klima Meeressalz bis in die Sedimente der Kreideformation fein vertheilt. Da darf es uns nicht Wunder nehmen, wenn der Salzgehalt der Felsen in der Wüste ein so grosser ist, wenn jede Wüstenquelle Spuren von Salz enthält. Das Wüstensalz ist also thatsächlich Meeressalz, nur gehört es ursprünglich Formationen an, welche viel weiter zurückliegen, als das Diluvium.

Das Wasser der Quelle im Kloster St. Antonius ist mit Salz der Kreideformation beladen, das Salz, welches aus den Felsen des Mokkatam ausblüht, gehört der Eocänformation an, und das Salz der Ammonsoase ist miocän. Alles aber ist Meeressalz von wechselnder Zusammensetzung; denn es ist begreiflich, dass das Salz in den Felsen der Wüste, wenn es auch nicht durch beständige Regen

1) Dubocq, Zeitschr. für Allg. Erdkunde. Berlin 1857, p. 200.

2) Huyssen, Die Soolquellen des Westphälischen Kreidegebirges. Zeitschr. d. deutsch. geol. Gesellschaft. 1855, p. 17.

herausgelöst wird, doch durch die gelegentlichen Regen innerhalb der Gebirge seinen Lagerplatz verändern kann. Die leicht löslichen Kalisalze werden leichter entführt als die Natronsalze, tiefere Bänke werden salzreicher auf Kosten der darüber lagernden, und der Salzreichthum der unteren Mokkatamstufe ist meines Erachtens eine Folge davon, dass die braunen Bänke der oberen Stufe entsalzt und dieses Salz in die darunterliegenden weissen Kalke hineingetragen worden ist.

Wenn also auch das Salz die Wüste nicht verlassen kann, so circuliert es doch innerhalb der Wüste. Wo sich eine Depression befindet, nach welcher die seltenen Gewitterbäche strömen um daselbst zu versiegen, da muss sich das Salz anreichern, wo sich Spalten im Gestein finden, da wird es auskrystallisieren und in ewigem Wandern begriffen sein.

Die Mönche des Klosters St. Antonius gewinnen ihr Salz aus Gängen im Galâlagebirge. Bei El Golea (westlich von Abû Roâsch) findet sich das Salz in blätterigen Ausscheidungen in einem kalkigen Schutt, und der Boden einer Ebene am Fusse von el Gaâ ist auf weite Erstreckung nach Salz durchwühlt. Die Araber erzählen, dass sich nach einigen Jahren die schon einmal ausgebeutete Localität wieder anreichert.

Auf Taf. I, Fig. 5 ist ein Stück des Fasersalzes abgebildet. Es stammt aus dem Salzvorrath der Mönche im Kloster St. Anton, und obwohl das 8 cm dicke Stück bei der photographischen Aufnahme nicht günstig beleuchtet war, so erkennt man doch die faserige Structur desselben, und überzeugt sich leicht, dass eine dem Fasergyps ungemein ähnliche Bildung vorliegt. Fig. 4 derselben Tafel zeigt den Querbruch eines Stückes Blättersalz aus der Ebene zwischen Abû Roâsch und el Golea, die geschichtete Structur desselben ist deutlich sichtbar.

So darf es uns gar nicht Wunder nehmen, wenn das ursprünglich gleichmässig und fein vertheilte Salz sich allmählich an gewissen Localitäten mitten in der Wüste angehäuft hat, dass andere Regionen salzleer geworden sind.

»Am Tsadsee ist das Salz so absolut fehlend, dass die Leute, wenn die Caravanen von Bilma längere Zeit ausbleiben, aus der Asche einiger Bäume (Suak) eine Art Salz auslaugen« schreibt

Rohlfs[1]), nachdem er berichtet hat: »Die Salzminen von Bilma und Kalala (in Kauer) bestehen in grossen Gruben, welche von 20—30 Fuss hohen Schutthaufen umgeben sind. Das Wasser in diesen Gruben ist so salzhaltig, und die Verdunstung hier im Centrum der Wüste ist so gross, dass sich innerhalb einiger Tage eine mehrere Zoll dicke Kruste auf dem Wasser bildet, welche durchstossen und abgefischt wird. Ein grosser Theil von Centralafrika wird von hier aus durch die Tuareg, Tebu und Arabu mit Salz versorgt.«

Der »Salzgehalt der Wüstenluft« spielt in der Wüstenliteratur eine nicht unbedeutende Rolle, wenn es sich um die Erklärung der Verwitterung, der schwarzen Rinden u. s. w. handelt. Um den Salzgehalt der Wüstenluft zu bestimmen, hatte ich einen Aspirator mitgenommen und stellte denselben an einigen Chamsintagen, im Grôm bei Tor auf. Der Wind kam von Westen, hatte den Meerbusen von Sues bestrichen, so dass die Wahrscheinlichkeit gross war, Chlornatrium in der Luft zu finden. Drei Tage lang leitete ich 45 Liter Luft in kleinen Blasen durch einen mit schwarzem Papier umwickelten Glascylinder, gefüllt mit einer Silbernitratlösung. Auf meine Bitte hatte Herr Dr. H. Geuther in Jena die Güte, die Flüssigkeit zu untersuchen: »Die Silberlösung wurde mit wenig warmer Salpeterlösung digeriert, hierauf filtriert. Da alles Silber so gelöst wird, konnte der Filterrückstand nur noch aus Chlorsilber oder kleinen Verunreinigungen bestehen. Das Filter wurde, gut ausgewaschen, am gewogenen Platindraht verascht. Eine Zunahme des Platins nach dem Veraschen konnte nicht constatiert werden, demnach war eine wägbare Menge von Chlorsilber nicht vorhanden.« Trotz des negativen Resultates meiner Versuche ist es immerhin wahrscheinlich, dass man in einer grösseren Menge Luft Salz nachweisen wird. Denn es ist ganz klar, dass die vom Wind davongetragenen Theilchen salzhaltigerFelsen ebenfalls Salz enthalten, es ist zweifellos, dass der Gehalt eines Staubwindes in der Lehmwüste an Salz ziemlich bedeutend sein muss. Allein ich kann nicht verstehen, welche chemischen Wirkungen solcher lufttrockener Salzstaub im Wüstenwind ausführen solle. Corpora non agunt nisi fluida. Dieser Satz gilt im hervorragenden Masse von einer so festen Verbindung wie das Chlornatrium.

1) G. Rohlfs, Petermanns Erg.-Hefte XXV. p. 27 u. 49.

Es ist nicht verständlich, dass das trockene Kochsalz chemische Wirkungen ausüben sollte, welche grösser sind, als die des feuchten oder gelösten Salzes und ich glaube daher die Wirkung des »Salzgehaltes der Wüstenluft« gering anschlagen zu dürfen, da das Salz in der Wüstenluft nur staubförmig, mechanisch, schwebt, und nicht wie in der feuchten Seeluft im Wasserdampf gelöst enthalten ist.

Eine eigenthümliche, wenn auch unbedeutende Wirkung hat das Salz endlich in der Wüste, die ich hier nicht unerwähnt lassen darf.

Bei feuchtem Wetter beobachtet man mitten im Sand zwischen Bergzügen der arabischen Wüste eigenthümlich dunkle Stellen, die SCHWEINFURTH treffend als »Ölflecke« bezeichnet. Es ist eine ungemein auffallende Erscheinung, wenn man mitten im hellgelben Sand eine scharf begrenzte dunklere Fläche sieht, ähnlich dem Schatten, welchen eine Wolke hervorrufen würde. Lange blieb mir diese Erscheinung unverständlich, bis ich zufällig die Lösung des Räthsels fand. Von einem Ritt aus Uâdi Hoff und G. Turrah zurückkehrend hatte ich anfangs den Eisenbahndamm verfolgt, dann ritt ich vor Cairo links ab durch die verfallenen Friedhöfe und Trümmerfelder von Altcairo. Der Tag war kalt und nebelfeucht gewesen, eine Art Scirocco hatte geweht, und trübe Wolken bedeckten den Himmel. Als ich über die Trümmerfelder ritt, bemerkte ich auf den thonigen Flächen eigenthümliche dunkle Bänder, 1—2 Fuss breit, welche wie die Grundrisse von Mauern, Häusern und Grabkammern aussahen. Meine Vermuthung fand ich bald bestätigt und beobachtete, dass unter jedem dieser dunkeln Bänder sich unterirdisch das Fundament einer Mauer befand, die aus (salzhaltigen) weissen Mokkatamkalken gebaut war. Das Salz dieser Mauersteine war nach oben in den lehmigen Schutt effloresciert, und hatte aus der feuchten Luft Wasser angezogen. Dadurch aber war das salzgetränkte Gebiet des Schuttes dunkler geworden und hob sich scharf von der salzfreien Umgebung ab.

Ich glaube, dass durch diese Beobachtung das Auftreten der »Ölflecke« genügend erklärt wird, als solcher Stellen, unter denen sich, im Sande vergraben, salzreiche Felsen befinden, deren Salz in den Boden effloresciert ist und Wasser anzieht.

VII. Die Beständigkeit des Klimas in Ägypten.

Alle unsere bisherigen Betrachtungen über die Oberflächenformen in der Wüste und deren Veränderung hatten den Zweck nachzuweisen, dass die Morphologie und Bildung der Wüste eine Wirkung der specifischen Wüstenkräfte sei. Keine einzige der oft so räthselhaften Erscheinungen in der Wüste verlangt die Annahme von meteorologischen Kräften, welche der heutigen Wüste fremd sind.

Ich weiss, dass ich mich durch diese Ansicht in Gegensatz stelle zu dem Urtheil hervorragender Forscher, welche die Wüste aus eigener Anschauung kennen gelernt haben; aber meines Erachtens sind die Gründe, welche für eine Constanz des Klimas sprechen, bedeutungsvoller als diejenigen, welche eine Veränderung des Klimas in den letzten Jahrtausenden zu beweisen scheinen, und meine Aufgabe soll es jetzt sein, die Thatsachen zu discutieren, welche für die letztere Ansicht ins Feld geführt worden sind.

Das äusserste Extrem finde ich in jener Meinung, welche die Wüste als trockengelegten Meeresboden betrachtet. Man schloss aus der vermeintlichen Depressionsnatur der Sahara, aus der Verbreitung des Sandes, des Salzes und versteinerter Meeresmuscheln mitten in der Wüste, dass noch während des Diluvium in Nordafrika ein grosses Meer bestanden habe und Escher von der Linth erklärte die Abnahme der Kälte am Schlusse der Eiszeit für eine Wirkung des eintrocknenden Saharameeres. Desor[1]) schreibt: »dass die Sahara noch Meer war, als die Alpen schon in ihrer jetzigen Gestalt existierten«.

Ich habe oben auseinandergesetzt, dass der Wüstensand kein Meeressand ist, dass das Wüstensalz fossiles Salz älterer Perioden sei; und die vermeintliche grosse Depression im Innern der Sahara beschränkt sich nach den genausten Nivellements, welche die französische Regierung anstellen liess, um das Saharameer wieder zu bewässern, auf ein enges Gebiet:

Das zu bewässernde Gebiet der Schotts zerfällt nach Roudaire[2]) in

1) das Bassin des Schott Melrir, 24 m unter dem Meere gelegen, 6700 qkm gross;

1) Desor, Aus Sahara und Atlas. Wiesbaden 1865, p. 48.

2) Le Mission des Chotts, p. 62.

2) das Bassin des Schott Rharsa, 24 m tief, 1540 qkm gross;
3) das Bassin des Schott Djerid, über dem Meere gelegen und 5000 qkm gross.

Das gesammte »centrale« Saharameer würde demnach eine Fläche von 13000 qkm bedecken, das ist ungefähr der 1/1000 Theil von Nordafrika.

Obwohl die Beobachtungen der Wüstenreisenden ergaben, dass südlich von diesen Schotts die Wüste ein Hochland sei, dass abgesehen von wenigen Oasen (Siwah, Fayum etc.) keine Depressionen vorkommen, obwohl ZITTEL[1]) mit den trefflichsten Argumenten die Idee des Saharameeres widerlegt hat, so ist doch neuerdings Ch. MAYER-EYMAR[2]) wieder darauf zurückgekommen und glaubt auf Grund der Pliocänfauna des »Uâdi Mallaha« südlich von Giseh, »dass die Sahara zur grossen Gletscherzeit zum Theil unter Meer war«, ja dass das »Meerwasser abnorm kalt war und der bei Assuan mündende Nil einen guten Theil des Jahres Eis trieb«.

Auf Wunsch des verstorbenen Prof. NEUMAYR in Wien sammelte ich die Fauna des Uâdi Mellaha, und NEUMAYR bestimmte darin sechs entschiedene tropische Formen, so dass hiernach der zweite Theil von MAYER-EYMAR's Ansichten widerlegt erscheint, der erste Theil widerlegt sich durch die Topographie der libyschen Wüste.

Was endlich die versteinerten Muscheln in der Wüste anlangt, welche in ungeheuerer Menge den Boden bedecken, so hat sich herausgestellt, dass die Verbreitung von Cardium edule nicht über die Schotts hinausgeht, dass die Austernbänke an den Ufern des oberen Nils von einer austerähnlichen Süsswassermuschel Aetheria herrühren, und dass alle übrigen in der Wüste gefundenen Versteinerungen älteren Formationen angehören und, durch die in dem Abschnitt Kieswüste geschilderten Vorgänge bedingt, in so grosser Menge den Wüstenboden bedecken.

Von O. FRAAS[3]) wurde aus der eigenthümlichen »verkehrten Erosionsform« der Uâdis und aus den Schottermassen in denselben der Schluss gezogen, dass der Sinai von Gletschern bedeckt gewesen

1) ZITTEL, l. c. p. 31 ff.

2) MAYER-EYMAR, Zur Geologie Ägyptens. Vierteljahrsschrift der Züricher naturforschenden Gesellschaft. August 1886, p. 27.

3) O. FRAAS, Aus dem Orient, p. 31 u. 206.

sei. Ich habe in einem früheren Abschnitt gezeigt, wie sich jene Erscheinung durch tectonische Störungen, diese durch die Vertheilung der Wüstenregen erklärt.

An einer anderen Stelle seines an fruchtbaren Gedanken und interessanten Beobachtungen so reichen Buches sagt FRAAS: »Nirgends deutlicher, als in der Wüste, wo keinerlei Vegetation den Blick beirrt, tritt die erodierende und Schuttmassen bildende Kraft früherer Wasserströme und einer vergangenen regenreichen Zeit dem Auge entgegen. Wenn im Uâdi el Tih östlich von Cairo das Ausgehende der Schichten die Gestalt beistehender Figur (»Zeugen«) angenommen hat, die sich hundertmal im Kleinen, wie im Grossen wiederholt, so weiss Jedermann, dass keine andere Kraft als die des Regens, resp. des fliessenden Wassers solche Formen zu schaffen im Stande ist. Alle Thäler der Wüste sind alte Wasserläufe, alle Felsplatten, Zinnen und Zacken an den Bergen sind Reste alter Wasserstürze, und die ganze Sinaihalbinsel, wie die ungeheuere Landfläche im Osten und Westen des Nils giebt auf jedem Schritt und Tritt hierzu Belege.«

Ich habe in dem Abschnitt über die Formen der Felswüste ausführlich meine Meinung über diese Fragen ausgesprochen und verweise auf das dort Gesagte. Aber O. FRAAS giebt selbst einen ungemein wichtigen Einwurf gegen seine Ansicht auf S. 196, wo er den Mangel von Humus als charakteristisch für die Wüste erwähnt. Nun ist es bisher noch nirgends gelungen, fossile Humusschichten in dem Alluvium Ägyptens zu entdecken. Allerdings schliesst FRAAS a. a. O. Seite 199: »König Josia brachte nach biblischem Bericht zum Passah 3000 Rinder zum Morgenopfer; zu einem solchen Viehstand ist ein glänzender Wiesenwachs erste Voraussetzung; waren nun einst Wiesen und Wälder in Juda, so gab es auch einst Humus; gab es aber Humus, so gab es auch einen Wechsel von Sommer und Winter, es war mit anderen Worten das Klima ein anderes.«

Ich kann diese Schlussfolgerung nicht eher anerkennen, bis fossiler Humus in den Alluvionen Ägyptens in grösserer Verbreitung nachgewiesen wird.

Gerade mit Rücksicht auf Palästina sagt DOVE[1]): »Das Klima

1) DOVE, Zeitschr. des Vereins für Erdkunde. Berlin 1868, p. 187.

von Jerusalem ist jetzt noch genau so wie zur Zeit der Bibelbeschreibung« und ARAGO[1]) wies schon 1834 nach, dass das Klima Palästinas sich seit 3500 Jahren nicht geändert habe.

Im Uâdi Ashar der nördlichen Galâla fand SCHWEINFURTH[2]) »uralte Stammreste an einer Seitenwand des Thalgehänges, wo sie entschieden den ehemaligen Thalgrund andeuteten, weil an dieser Stelle die benachbarte Steilwand viele Jahrhunderte hindurch unverändert blieb. Da hätten sich wohl mit Fug und Recht Humusreste erwarten lassen sollen, falls zu einer Zeit, die von der heutigen durch das Werk der Vertiefung der Thalsohle um 30 Fuss getrennt ist, wirklich wesentlich andere Regenverhältnisse obwalteten. Denselben negativen Beweis könnte man an den Stellen der Travertinbildung am Rande der grossen Oase antreten, wenn man wollte. Die Frage der Beständigkeit des Wüstenklimas während der allerletzten geologischen Epoche drängt sich immer noch durch neue Beobachtungsobjecte auf. Sollte z. B. nicht auch in den »Salzverhältnissen« ein Beweismittel für die Stabilität des Klimas zu suchen sein?«

FRAAS und Andere haben auch die Thatsache, dass die Pyramiden und die Tempel der alten Ägypter auf Wüstenboden stehen, benutzt, um eine früher grössere Verbreitung des Culturlandes zu beweisen, obwohl es eher wunderbar sein würde, wenn es anders wäre. Denn erstens ist der Nilschlamm ein viel zu nachgiebiger Boden, um darauf Pyramiden zu errichten, zweitens fehlt dem Nilthal jener anstehende Felsen, in welchen bei Beginn eines Pyramidenbaues die Grabkammer eingehauen wurde, endlich schätzten die Ägypter das schwarze fruchtbare Nilerdenland viel zu hoch, um seine Fläche durch Colossalbauten zu verkleinern. Wenn das Culturland einst weiter ausgedehnt war, wenn diese altägyptischen Bauten auf einem ausgedehnteren Culturland errichtet worden wären, so müsste man doch an den Fundamenten dieser Bauten die Spuren des Culturbodens finden, der in der Umgebung später davongetragen worden sein soll. Statt dessen sprechen alle Thatsachen dafür, dass die alten Pyramiden und Tempel thatsächlich ausserhalb des Culturlandes erbaut

1) JAMES, Edinb. n. philos. Journ. 1834, April XVI, XXXII, p. 205.
2) Brief vom 2. Januar 1890.



Fig. 96. Deflationserscheinungen bei den Pyramiden von Giseh.

worden sind, und dass sich seit Erbauung derselben die Grenze der Wüste und der schwarzen Nilerde nicht wesentlich verändert hat.

»Die[1]) Mauer (der Häuser von Kosseir) ist zusammengesetzt aus rohen ungebrannten Thonziegeln von länglich rechteckiger Form, wie sie schon die alten Ägypter, damals stets mit dem Regierungsstempel gezeichnet, für ihre Privatbauten brauchten, ihr Name »Tub« hat sich bis heute erhalten. Dieses Material ist eben nur für diese regenlosen Districte möglich, bei einem stärker andauernden Regen würde eine so erbaute Stadt in kurzer Zeit in einen Breihaufen verwandelt; und auch darin liegt ein Beweis, dass das Klima des alten Ägyptens so trocken wie das jetzige war.«

UNGER[2]) untersuchte Ziegel aus der Zeit vor 1726 v. Chr. und kam zu folgenden Schlüssen:

1) Die landeseigenthümliche Vegetation von Ägypten und damit die Beschaffenheit des Klimas hat sich in ungefähr 4000 Jahren nicht geändert.
2) Hordeum vulgare und Triticum turgidum wurden schon vor 4000 Jahren im Grossen angebaut.
3) Eine Veränderung des Artcharakters scheint nicht stattgefunden zu haben.
4) Holzarmuth des Landes hat schon damals die Benutzung von Stroh und Mist als Feuermaterial nöthig gemacht.

»Niemals[3]) ist ein Strom süssen Wassers weder durch das Wüstenplateau noch durch die Oaseneinsenkung geflossen. Der vielgenannte Bahr-bela-ma schrumpft auf ein Thälchen am Nordostrande von Dachel zusammen. Es finden sich in dem ganzen von uns bereisten Stück der lybischen Wüste keinerlei Spuren von fluviatilen Ablagerungen oder von der mechanischen Einwirkung fliessenden Wassers. Auch von einer Ausbreitung der Vegetation etwa während der Eiszeit über gewisse Wüstenstriche lassen sich nirgends Anzeichen entdecken. Nach allen von uns beobachteten Thatsachen hat sich die Wüste kaum verändert, seitdem die Fluthen des früheren Diluvialmeeres

1) KLUNZINGER, Bilder aus Ägypten. Stuttgart 1878, p. 4.

2) UNGER, Sitzungsber. Acad. d. Wissensch. Wien. Jan. 1862. II, p. 88. Petermanns Mitth. Bd. 9, p. 238.

3) ASCHERSON, Petermanns Mitth. Bd. 20, p. 183.

(sollte besser heissen Tertiärmeeres) diesen Landstrich verlassen haben; sie ist steril und vegetationslos gewesen seit ihrem Bestehen und wird Wüste bleiben, solange nicht tiefgreifende geologische Veränderungen die jetzigen Grundzüge in der Vertheilung von Wasser und Land umgestalten.« So urtheilt Ascherson, einer der besten Kenner der ägyptischen Wüstenflora.

Und über die westliche Sahara urtheilt Duveyrier[1]: »Par le témoignage de Juba, confirmé par Pline et par d'autres encore, il devient évident que la partie du Sahara dont je m'occupe, était déja, il-y-a dix-huit cents ans, sinon sous le rapport de la quantité des eaux, du moins sous le rapport des sables et de leur circulation, telle qu'elle s'est présentée à mon observation.«

Eine der wichtigsten Thatsachen für die lange Constanz des Wüstenklimas ist die Vertheilung des Salzes. In einem regenreichen Klima wäre es ganz unmöglich, dass soviel Salz in den oberflächlichen Felsen vorhanden bliebe, wie wir in der Wüste beobachten, es würde längst aus den Felsen herausgewaschen sein.

Endlich ist der Fangdamm, den Schweinfurth im Uâdi Guerraui entdeckte s. Fig. 13 und dem sich unzählige ähnliche, verfallene Fangdämme in der Cyrenaika anschliessen, ein Beweis dafür, dass es dort vor Jahrtausenden ebenso selten geregnet hat wie heutzutage.

Indem ich also meine auf Beobachtungen und die Urtheile hervorragender Forscher gestützte Ansicht dahin ausspreche, dass die Wüste Nordafrikas ein hohes Alter besitzt und dass das Klima von Ägypten in historischer Zeit keine wesentlichen Änderungen erfahren hat, gebe ich gern zu, dass geringe Klimaschwankungen vorgekommen sind, dass die Vegetationsarmuth local früher geringer war als heutzutage.

Im Uâdi Maghara und am G. Suffr an der Sinaihalbinsel finden sich Schmelzschlacken in einer Gegend, wo man heute vergeblich das zum Metallschmelzen nöthige Holz suchen würde.

»Im Thal[2]) Meschru in der Wüste zwischen Fesan und Kauar finden sich viele bis 50 Fuss hohe Neulinge; da das Thal jetzt ganz baum- und krautlos ist, so muss man annehmen, dass die früher reichere Vegetation verschwunden ist.«

1) Duveyrier, Les Touareg du Nord, p. 43.

2) Rohlfs, Petermanns Erg.-Hefte 25, p. 16.

Die Beduinen der Sinaihalbinsel, welche wohl seit Jahrhunderten aus kümmerlichen Tamariskenstämmen Holzkohle brennen und damit die Schmiede und die Haushaltungen Ägyptens versehen, haben gewiss viel Vegetation verwüstet und den Wüstencharakter des Sinai vervollständigen helfen, allein man darf diese Erscheinung nicht überschätzen und auf eine früher vegetationsbedeckte Landschaft schliessen.

K. v. Zittel[1]) fand in einem Süsswasserkalk der Oase Chargeh Blätter von Quercus ilex und schliesst daraus, dass dieser Süsswasserkalk unter einem regenreicheren Klima gebildet worden sei, als gegenwärtig dort herrscht.

Bei der Beurtheilung dieser Frage muss aber in erster Linie darauf hingewiesen werden, dass das geologische Alter dieses Süsswasserkalklagers (das 3 m dick, 300 m hoch und einen Kilometer lang war) nicht festgestellt ist und vielleicht in jene frühen Zeiten des Tertiärs hinabreicht, wo nachweislich das Meer grosse Theile Nordafrikas bedeckte. Aber wenn wir selbst annehmen wollten, dass dieser Süsswasserkalk eine Bildung sei, die in historischer oder prähistorischer Zeit erfolgte, so ist damit noch nicht bewiesen, dass damals das Klima der Oasen so grundverschieden war von dem Klima der Gegenwart. Nach Mittheilungen von G. Schweinfurth ist Quercus ilex in den Mittelmeerländern sehr weit verbreitet, sie findet sich in Griechenland, Macedonien, Kreta, Pontus, an der Syrischen Küste und in Nordafrika und es ist nicht ausgeschlossen, dass die Verbreitung dieser Art vormals eine noch grössere war, ohne dass man daraus auf eine grundlegende Veränderung des Klimas schliessen dürfe.

Wir dürfen das um so weniger thun, als dem Fund von Quercus ilex in der Oase Chargeh die Beobachtung Schweinfurth's[2]) gegenüber steht, wonach Picris coronopaifolia Aschrsn. unter den aus Weidenblättern zusammengesetzten Blumengewinden der Mumie der Prinzessin Noi-Chonsu von der XXII. Dynastie (1000 vor Christus), welche der grosse Gräberfund von Der-el-Bahari zu Tage förderte, in einer grossen Anzahl von Blüthenköpfen gefunden wurde. »Diese

1) Zittel, Palaeontographica, XXX, p. 141.

2) Berichte der deutschen bot. Ges. Berlin, 25. Juli 1884.

Composite ist für die Flora des Wüstenrandes von Mittel- und Oberägypten sehr charakteristisch und dürfte als Zeuge für eine Stabilität des Klimas seit 3000 Jahren gelten.«

Ebenso wenig darf man die künstlich zubehauenen Feuersteine, welche Schweinfurth im Uâdi Ssannûr und in der Oase Chargeh, Zittel am Regenfeld entdeckte, als einen Beweis für eine Änderung des Klimas betrachten. Bekanntlich benutzen die meisten Beduinen Flintengewehre mit Feuersteinschloss; die Kugel hämmern sich die Sinaibeduinen aus einem Stück Blei, das Pulver bereiten sie mit natürlichem Schwefel vom Djebel Djimseh, die Kohle brennen sie aus Tamariskenholz und nur den Salpeter erhalten sie im Tauschverkehr. Die Feuersteine aber werden an gewissen Stellen der Wüste geholt, wo local die feuersteinreiche Kreide durch Dislocation zu Tage tritt. Einer der Hauptorte für Feuersteinindustrie ist Abû Roâsch, wo ganze Werkstätten für Flinte sind und wo man sehen kann, wie die Feuersteinkugeln zuerst mit einem spitzen Hammer in Scherben geschlagen und dann weiter bearbeitet werden mit einem kleinen Instrument von beistehender Form Fig. 97, dessen Schlagstück eine weiche gekrümmte Eisenplatte ist, während der Stiel in einem Handgriff steckt, der aus einem Maisfruchtstand gemacht ist.



Fig. 97. Flint-Schlägel der Fellachen von Abû Roâsch.

Die Feuersteinlocalität NW vom Uâdi Ssannûr habe ich selbst besucht. Auf Tagereisen weite Entfernung ist ringsum keine menschliche Niederlassung, und doch ist dort ein grosses Terrain auf 4 m Tiefe ganz durchwühlt und nach Feuersteinknollen durchsucht. Dieselben werden auch, wie man aus dem umgebenden weiten Scherbenfelde schliessen darf, hier sogleich zugehauen, und dass solches in neuester Zeit noch geschieht, ist leicht zu erkennen. Sobald es einem Beduinenstamm an Flinten mangelt, werden wohl einige Männer nach dem Uâdi Ssannûr geschickt um dort Feuersteine zu graben, dieselben zuzuschlagen und mitzunehmen. So wird jeder Stamm seine Kreidelocalität haben, wo er sich mit Flinten versorgt. Nur mit geringer Wahrscheinlichkeit wird man aus dem Auftreten solcher Scherbenhügel mitten in der Wüste schliessen können, dass die betreffende Localität eine reiche Vegetation besessen habe, und zum Wohnsitz für sesshafte Menschen gedient haben kann und dass überhaupt

diese Feuersteinarbeiten einer Zeitepoche angehören, welche der Steinzeit in Europa äquivalent sei. Wir schliessen uns SUESS[1]) an, welcher sagt: »Alle die ältesten Reste ägyptischer Cultur und die vielleicht noch weit älteren Überbleibsel der Steinzeit, welche in demselben Gebiete angetroffen worden sind, erweisen sich jünger als der weitaus grösste Theil des fluviatilen Schwemmlandes und folglich noch unvergleichlich viel jünger als die Spuren des alten Meeres; und alle Jahrtausende menschlicher Geschichte geben keine Parallaxe der Zeit, und keinen auch noch so entfernten Anhaltspunkt zur ziffermässigen Abgrenzung der Äonen, während welcher die hydographischen Verhältnisse Ägyptens bis zum heutigen Tage im Wesentlichen gleich geblieben sind.«

Den localen Verwandlungen von vegetationsreicheren Gebieten zu kahler Wüste stehen sogar wohlbeglaubigt entgegengesetzte Vorgänge am Südrande der Sahara gegenüber. ROHLFS[2]) schreibt: »Das ganze wellenförmige Terrain von Kufe bis zum Tsad, jetzt ein grosser vorzugsweise aus Mimosen und Hadjilidj zusammengesetzter Wald, war gewiss einst ein Theil der Sahara, und zwar Dünenformation. Wenn man heute nur etwas tief gräbt, so stösst man auf Sand, wie man ihn in den Dünenregionen findet, und selbst an der Oberfläche ist die Humusformation noch nicht vollendet. Wenn die Wüste nach Norden vorzudringen scheint, so wird dies dadurch ausgeglichen, dass von Süden her Wald und Vegetation siegreich gegen die Wüste vorrücken, und da das Gebirge im Norden von Agidir bis Choms dem Vordringen des Sandes ein natürliches Hinderniss entgegenstellt, so ist vorauszusetzen, dass die Wüste einst gänzlich verschwunden sein wird. Hauptursache dieses gewaltigen Fortschrittes der Vegetation von S. nach N. auf Kosten der Wüste und der Sanddünen insbesondere, sind nun eben die in der südlichen Hälfte der Sahara herrschenden Winde. Dieser feuchte Meereswind, in der Regenzeit durch einen oberen SO.-Wind verstärkt, führt Tag für Tag der Wüste Samenkörner und die nöthige Feuchtigkeit zum Aufkeimen zu, und er wird keineswegs durch einen anderen von NO. oder NW. kommenden Wind, wie es im Norden der Fall ist, aufgehoben. Ich denke

1) SUESS, Antlitz der Erde. Bd. II, p. 574.

2) ROHLFS, Petermanns Erg.-Hefte 25, p. 56.

in 50 Jahren wird die Tintümma nicht mehr eine krautreiche Steppe sein, sondern ein mit Mimosen bedeckter Wald; und die fossilienreichen Adedünen werden so reiche Weide bieten, wie heutzutage die Tintümma, die ehedem nichts als eine Sandfläche war.«

VIII. Rückblick.

Zwei Zonen vegetationsloser Gebiete lassen sich um die Erde verfolgen, beide eingeschaltet zwischen Tropenklima und die Länder der gemässigten Zone s. Fig. 98. Auf der nördlichen Halbkugel ist diese Zone besonders stark entwickelt. Beginnen wir mit Nordafrika, das vom

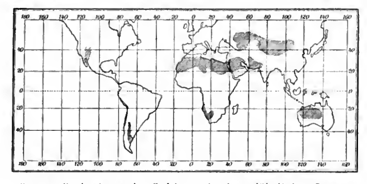


Fig. 98. Verbreitung der Gebiete mit einer jährlichen Regenmenge unter 20 cm nach Hann (Loomis). Berghaus, Phys. Atlas Nr. 37.

Atlantischen Ocean bis zum Rothen Meer als Wüste uns entgegentritt, so folgt nach Osten die Wüste von Syrien und Arabien, dann die Wüsten von Turkestan und Persien, die Wüste Thurr in Nordindien und endlich die Steppen- und Wüstenregion von Gobi und Nordchina. Auf dem nordamerikanischen Continent treten in denselben Breiten die californischen und mexikanischen Wüsten auf.

Die Wüstenzone der südlichen Halbkugel umfasst einige ausgedehnte Gebiete, aber auch hier wird das regenarme Land vom 15. und 50. Breitengrade begrenzt. Wir finden in Südafrika die Kalahari und die Wüsteneien der Tranvaalstaaten, in Australien die centralen Wüsten des Inneren und in Südamerika die Atacama.

Also lehrt uns schon die Betrachtung der geographischen Ver-

breitung der Wüsten- und Steppengebiete, dass dieselben keineswegs regellos auf der Erde verstreut sind, sondern von bestimmten klimatischen Factoren abhängig, eine bestimmte geographische Lage besitzen.

Diese Gesetzmässigkeit des Auftretens der Wüsten fällt uns nicht minder auf, wenn wir ein einzelnes Wüstengebiet studieren und die inneren Zusammenhänge enthüllen, welche zwischen bestimmten Wüstenformen und bestimmten klimatischen und geologischen Bedingungen bestehen. Dann sehen wir, dass die Wüste keine Ausnahme, kein lusus naturae ist, sondern dass sie in ihrer Ausdehnung und ihren Oberflächenformen von ebenso festen Gesetzen beherrscht wird, wie ein Flusssystem oder das Gletschergebiet eines Gebirges. Wir werden zu der Ansicht geleitet, dass ebenso wie unter bestimmten klimatischen Bedingungen die Gletscher sich ausdehnen und weite Regionen unter ihren Eismassen begraben können, in derselben Weise auch die Wüste ihre Grenzen überschreiten und wie eine Seuche verheerend, weite Flächen siegreich sich unterwerfen kann.

Wir lernen, dass jede Veränderung der Klimazonen auf der Erdoberfläche, jede Verschiebung der Eismassen an den Polen, jedes Übergreifen tropischer Vegetation in kühlere Zonen, auch eine Verschiebung der Wüstengürtel im Gefolge haben muss, dass wir mithin vom geologischen Standpunkte mit »fossilen Wüsten« ebenso rechnen müssen, wie wir uns gewöhnt haben von fossilen Gletschergebieten und vom tropischen Klima ausserhalb der jetzigen Tropengürtel zu sprechen.

Sodann erkennen wir beim Studium der mannigfaltigen Ablagerungen, welche wir in der Wüste beobachten, dass in der Gegenwart ungeheuere Räume des festen Landes sich im Laufe der Zeiten mit geschichteten oder ungeschichteten Sedimenten bedecken, die geologisch erhaltungsfähig in den Verband der Schichtgesteine geologischer Perioden aufgenommen werden; dass sie sich einschalten können zwischen rein marine Sedimente, oder zwischen Sedimente einer Binnenseebildung in der gleichen Weise, wie marine Sedimente festländischen Wüstenablagerungen sich einschalten und mit ihnen wechsellagern können.

F. VON RICHTHOFEN hat uns zuerst gelehrt, dass auch auf dem festen Lande Ablagerungen gebildet werden. Die Anregung welche ich ihm verdanke, hat mich veranlasst, die äolischen Gebilde der

Wüsten zu untersuchen und dadurch einen Beitrag zu liefern zu der Kenntniss festländischer Sedimente.

Dieser Begriff könnte als widerspruchsvoll betrachtet werden, aber thatsächlich bezeichnet man viele Gesteine mit dem Wort Sedimentgestein, obwohl sich nachweisen lässt, dass sie nicht im Meere gebildet worden sind. Mag man hypothetische »Binnenseen« oder fragwürdige »Strandbildungen« in ihnen vermuthen, sicher sind die Mehrzahl der Sandsteine nicht im Meere, sondern auf dem Festlande entstanden. Und von diesem Gesichtspunkt aus müssen wir die Festländer auch studieren und müssen untersuchen, welcher Art die Sedimente sind, die hier ohne Hilfe des Meeres gebildet werden.

In dem letzten Jahrzehnt hat die einmüthige Arbeit vieler Geologen gezeigt, welche ungeahnte Bedeutung die festländischen Ablagerungen besitzen, welche durch Gletschereis gebildet und transportiert werden; schon gelingt es, die Spuren glacialer »festländischer« Sedimente in älteren Formationen zu entdecken und eine Eiszeit der Carbonperiode nachzuweisen, welche an Bedeutung von der tertiären Eiszeit kaum übertroffen werden dürfte. Möchte es gelingen, auch die festländischen Ablagerungen fossiler Wüsten in den Schichten der Erde zu entdecken, und dadurch eine immer gestaltungsreichere, tiefere Kenntniss von dem Zustand der Erdrinde in längst verflossenen Perioden zu erringen.

Wir hatten in der Einleitung fünf Fragen aufgestellt, zu deren Beantwortung ich eigene und fremde Beobachtungen in den vorhergehenden Abschnitten zusammengestellt habe. Wir wollen jetzt versuchen, auf Grund der geschilderten Thatsachen jene Fragen zu beantworten.

Wenn wir die wüstenbildenden Kräfte nach ihrer geologischen Bedeutung, nach der Intensität ihrer Wirkung aufzählen wollten, so müssen wir beginnen mit jenem Vorgang, den ich oben als Deflation bezeichnet habe. Es giebt eine ganze Anzahl von Kräften, welche zerstörend auf die Felsen in der Wüste einwirken, aber ihre Thätigkeit würde bald erlahmen, sie würden nicht einmal imstande sein, cumulative Zersetzungsproducte anzuhäufen, wie es im Tropenlande geschieht. Alle Zerstörung der Gesteine in der Wüste ist oberflächlich, keiner der Processe geht weit in die Tiefe, und so

würde die Denudation in der Wüste bald ihr Ende erreichen, wenn die Deflation nicht wäre. Aber die, durch keine Pflanzendecke gehinderte, bewegte Luft, deren Geschwindigkeit in der Wüste der Schnelligkeit des Windes auf offenem Meere gleichkommt, diese mit unglaublicher Eile dahinbrausenden Winde heben alles gelockerte Gesteinsmaterial empor, tragen es fort und legen es erst fern von seinem Ursprungsort am Rande der Wüste nieder. Dieser Vorgang vollzieht sich in der Wüste Tag und Nacht, Jahr aus Jahr ein, und nur dadurch wird es verständlich, dass die Denudation in der Wüste so intensiv wirkt und in so tiefgreifender Weise hochaufragende Gebirge niederzureissen vermag. Deshalb erscheint die Wüste so rein, so staubfrei, weil alles stäubende Material durch Deflation entfernt wird. Deshalb sieht man Denudationswirkungen ohne Denudationsproducte, 6000 Fuss hohe Granitsteilwände ohne Gehängeschutt, tief eingeschnittene Uâdis ohne Geröllager, steil emporragende Zeugen ohne einen schuttbekleideten Fuss. Deshalb sind tiefe Höhlen in den Felsen gegraben ohne dass man darin gelockertes Material bemerkte, deshalb ragen Pilzfelsen aus der Ebene mit breitem Hut und verengtem Stiel. Alle diese typischen Wüstenerscheinungen sind ohne Deflation nicht denkbar und vielleicht verdanken jene ungeheueren Kessel mitten in der Wüste, die man als Oasen bezeichnet, ebenso wie die räthselhaften topographischen Depressionen keiner andern Ursache ihre Entstehung als der Deflation, jener gespensterhaften Kraft, die an keine Schwere gebunden ist, welche nichts verschont, das nicht fest ist, welche ohne Unterbrechung ihre geheimnissvolle Wirkung äussert. Die Insolation, die Verwitterung, das Sandgebläse, sie sind nur die Diener der Deflation, sie sind die stillen Bergleute, die, sei es bei Tag, sei es bei Nacht, am Felsen hämmern und bohren, deren Thätigkeit an jedem Felsblock zu sehen ist, aber nur in negativen, nicht in positiven Merkmalen. Denn was sie schaffen, was sie lockern, das nimmt ihnen noch unter den Händen die Deflation fort und entführt es in alle Winde.

Zwei Brüder sind Insolation und Verwitterung, und brüderlich haben sie sich in die Arbeit getheilt. Wenn der erste Sonnenstrahl, der die Memnonssäule erklingen liess, über die weite Hamada blitzt, dann beginnt die Insolation ihr Werk. Es springen die Gesteine, der Granit zerfällt zu lockerem Grus und schalig blättern die

weicheren Mergelbänke, so dass die überhängende Kalkbank polternd zur Tiefe stürzt. Wenn aber im Westen purpurfarben das strahlende Gestirn versinkt und nach kurzer Dämmerung das Zodiakallicht im

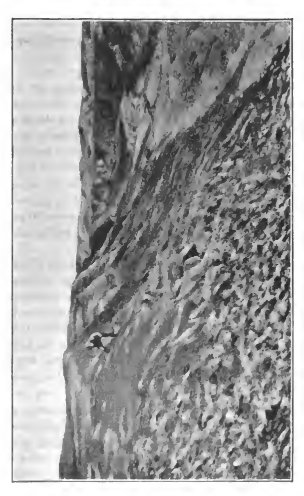


Fig. 99. Das untere Uādi Dugla vgl. die Karte Fig. 32, p. 412.

milden Schimmer emporsteigt, dann geht die Insolation zu Ruhe und überlässt dem stilleren Bruder, der am Tage im dunkeln Schatten versteckt war, das Feld der Arbeit. Dann vertiefen sich die Höhlen

in den Säulengängen, es lockern sich die chemisch zersetzbaren Felsarten und es entsteht manch räthselhafter Block.

So wechseln Insolation und Verwitterung Tag und Nacht das Arbeitsfeld, zwischen ihnen kommt es nur selten zum Streit, und ruhig vollziehen sie ihre Arbeit, deren Leistung deshalb so schwer abzuschätzen ist, weil die Deflation alles forträumt, was sie geschaffen haben.

Ein aufdringlicher Gesell ist das Sandgebläse, der stete Begleiter der Deflation, dessen Thätigkeit überall und stets in der Wüste zu finden ist, dessen denudierende Kraft aber vielfach überschätzt wird. Wohl kann man an allen Felsen Sandschliffe, Spuren der wetzenden Thätigkeit des vom Winde getriebenen Sandes erkennen, wohl sind die Spuren des Sandgebläses so häufig, dass manche Reisende diese Kraft als die wirksamste Kraft in der Wüste geschildert haben; allein ich glaube dass diese Kraft, weil ihre Spur leicht zu erkennen ist, vielfach überschätzt wird, jedenfalls ist sie geringfügig gegenüber der Deflation, und ihre Wirkung erreicht kaum jene Leistungsfähigkeit der Insolation bei der Zersprengung einfarbiger und der Zerbröckelung vielfarbiger Gesteine.

Die erodierende und transportierende Thätigkeit des Wassers ist in der Wüste geringfügig, denn es regnet nur selten. Die rasch und mit grosser Wasserfülle herabstürzenden Regengüsse vermögen allerdings in kurzer Zeit mehr zu leisten, als ein stetig rinnendes Gewässer, und die Vereinigung der Uâdis zu hydrographischen Thalsystemen, die Aufschichtung grosser Geröllmassen an den Ufern und der Mündung von Wüstenthälern ist der Thätigkeit solcher Regengüsse zu danken, allein sie spielen immerhin eine für die Modellierung der Wüstenlandschaft nur geringfügige Rolle und haben auch nie in der Wüste einen bestimmenden Einfluss auf die Bodengestaltung gehabt.

Wir hätten endlich der Vegetation zu gedenken, deren spärliche Verbreitung in der Wüste ihre geringe Bedeutung genügend erklärt. Nur die Neulinge sind eine durch Pflanzenwuchs bedingte, wenn auch unbedeutende Erscheinung.

Ausser diesen bekannten Kräften sehen wir aber in der Wüste noch manches Phänomen, das uns räthselhaft erscheint, und als dessen Ursache wir bislang unerkannte Vorgänge annehmen müssen. Die Bildung der braunen Schutzrinde und der in ihrem Gefolge

auftretenden Säulengänge und Pilzfelsen, das sind Thatsachen, die so fremdartig erscheinen, dass wir auf besondere Ursachen schliessen müssen, deren Bedeutung nur angedeutet, deren Causalzusammenhang vorläufig nur geahnt werden kann. In wie weit Ozon und Electricität in dem Zusammenspiel der Wüstenkräfte betheiligt sind, welche Erscheinungen durch sie bedingt werden, entzieht sich bislang ebenfalls unserer Kenntniss.

Überblicken wir aber alle diese verschiedenartigen Kräfte und verfolgen wir mit Sorgfalt die Wirkungsweise jeder einzelnen und ihr Zusammenwirken mit den andern, so ergiebt sich uns eine fremdartige Combination bekannter Componenten. Die Wirkung von Kräften, welche in unseren Breiten tonangebend sind, schrumpft in der Wüste zusammen, und statt dessen entwickeln andere Kräfte, die man bei uns in ihrer Wirkung leicht übersieht, eine staunenswerthe Leistungsfähigkeit.

Die sonderbaren Oberflächenformen der Wüste sind also nicht ein Product fremder unbekannter Kräfte, sondern verändert ist nur die Intensität der Wirkung bekannter meteorologischer Kräfte, sei es im positiven, sei es im negativen Sinn.

Sobald wir uns vertiefen in die Vorgänge, welche in der Wüste denudierend thätig sind, so erkennen wir überall alte Bekannte wieder, aber die Erosion, die wir früher als Riesen gekannt haben, tritt uns in der Wüste als Zwerg entgegen; und dafür tauchen gewaltige Gestalten und kühne Recken vor uns auf, die wir vorher nur als schwache Schatten kannten. Der Massstab verändert sich, die Leistungsfähigkeit wechselt, aber die Factoren sind dieselben.

Dass anders combinierte Kräfte auch eine andere Wirkung äussern, ist leicht verständlich. Daher dürfen wir uns nicht wundern, wenn wir in dem Landschaftsbild der Wüste manch' seltsamer Erscheinung begegnen.

Ein mehr oder minder durch Dislocation zerbrochenes Bergland, zusammengesetzt aus Urgesteinen, vulkanischen Gebilden und Sedimenten, wird von dem Wüstenklima erobert, und sofort beginnt dieses an tausend Punkten sein Zerstörungswerk. Das Resultat wird bedingt sein einerseits von der Wirkungsart der specifischen Wüstenkräfte, andererseits von den verschiedenen Eigenschaften verschiedener

Gesteine. Ein Granitgebirge wird anders modelliert als ein Sandsteinplateau, ein einförmiges Tafelland anders als ein aufgebrochenes Gewölbe. Ich habe in dem Abschnitt: »Formen der Felswüste« eine Anzahl Fälle herausgegriffen und an ihnen geschildert, wie der Denudationsvorgang in der Wüste verläuft. Diese Fälle könnten noch vielfach vermehrt werden, aber allen gemeinsam ist die Erscheinung, dass ihre Denudationsformen sich wesentlich unterscheiden von den Denudationsformen eines anderen Klimas.

Wir finden Schluchten, welche unseren Erosionsschluchten ähneln, doch wenn wir sie näher untersuchen, so sind sie mit Circusthälern verziert und enden mit steilen Felswänden. Wir sehen Berge, welche glacialen Rundhöckern ähneln, doch ist keine rauhe Leeseite an ihnen zu bemerken; daneben finden wir Granitgebirge, deren vielzackige Gipfel den Dolomiten von Südtirol gleichen, und Zeugenberge, die den Kuppen der sächsischen Schweiz ähnlich sehen, obwohl wir tiefgreifende Verschiedenheiten leicht nachweisen können.

Die Wirkungsweise jeder einzelnen meteorologischen Kraft ist in den einleitenden Abschnitten besprochen worden und ich verweise auf die betreffenden Kapitel, wo die Frage nach ihrer Wirkungsart eingehend beantwortet wurde.

Es ist das Endziel aller Denudation auf der Erde, die durch Dislocationen oder vulkanische Thätigkeit erzeugten Höhenunterschiede auf der Erdoberfläche einzuebnen und eine Denudationsfläche zu erzeugen, auf welcher die Denudationsproducte aufgeschichtet sind, sofern sie nicht weiter transportiert wurden.

Die Denudationsvorgänge im Tropenland, im Glacialgebiet, in Erosionslandschaften, am Meeresstrand unterscheiden sich in wesentlichen Eigenschaften von einander, und auch die äolische Denudation hat in ihrer Wirkung und ihren Resultaten bestimmte Charaktere.

Ebenflächigkeit der Denudationsebene ist ein wesentlicher Charakter der Deflation, und alle jene »fertigen« Wüsten, die als Sserîr, als Hamada, als Sebcha tagereisenweit sich erstrecken, ohne merkbare Niveauunterschiede, sind Denudationsflächen, entstanden durch Deflation.

Die Denudationsproducte, die Sedimente, in der Wüste sind viererlei Art. Eine derselben ist allerdings nur in den ersten Stadien der Wüstenbildung, in den Felswüsten häufig. Es sind das die

Schotter, welche im Verlauf der Uâdi sich anhäufend, local eine grosse Mächtigkeit erreichen können, deren Blöcke wirr durcheinanderliegend, bald scharfkantig, bald gerollt erscheinen.

Ist aber erst die Felswüste eingeebnet, ist statt der dislocierten Berglandschaft nur noch eine Deflationsebene vorhanden, dann giebt es auch keine Uâdischotter mehr, und drei andere Sedimente bedecken die Fläche der Wüste: Kies, Lehm oder Sand. Der Kies ist bald gerundet, dann spricht man von Sserîr, bald scharfkantig, dann entsteht die Hamada; je nachdem das Gestein leichter durch Insolation zersprengt oder leichter durch Sandgebläse gerundet werden kann.

Ähnlich verknüpft wie Sserîr und Hamada sind Sand- und Lehmwüste. In der einen finden wir den Quarz, in der andern den Feldspath zerstörter krystallinischer Gesteine wieder.

Die Aufbereitung dieser Sedimente in der Kies- und der Lehmwüste ist nicht leicht zu untersuchen; dagegen konnten wir für die Sandwüste feststellen, dass Sandsteinbänke, bisweilen mit eingeschalteten Thon- oder Gerölllagen, häufig mit Diagonalschichtung, mit Fährten, Regentropfenspuren, fossilem Holz etc. gebildet werden.

Sodann suchten wir die Ansicht mit Thatsachen zu belegen, dass das Relief der Wüste einzig und allein durch die Kräfte gebildet worden ist, welche heutzutage in der Wüste wirksam sind; dass weder Meeresfluthen noch Regengewässer von ungewohnter Stärke, noch Gletscher als bildende Ursachen angenommen werden müssen, um jene sonderbaren Oberflächenformen zu erklären, die wir in der Wüste beobachten. Ja wir kamen sogar zu der Überzeugung, dass das Klima der ägyptischen Wüste in vier Jahrtausenden historischer Geschichte im Grossen unverändert geblieben ist, dass die Wüste zur Pharaonenzeit ebenso existierte, wie in der Gegenwart.

Die letzte der eingangs gestellten Fragen: Woran erkennt man fossile Wüsten? lässt sich mit kurzen Worten nicht beantworten; die Antwort liegt in der ganzen Abhandlung, deren Aufgabe es war, gerade diese Frage zu erörtern und die Wüste zu erklären aus der Wüste.

Erklärung der Lichtdrucktafeln.

Sämmtliche Stücke sind in natürlicher Grösse dargestellt. Die beigefügten Zahlen geben die Seite an, auf der das betreffende Stück besprochen wird.

Tafel I.

Figur 1. Halbzersprungenes Quarzgeröll aus dem Schotter des Uâdi Gharandel S. 106.

Figur 2. Zersprungenes Kalkgeröll aus dem Schotter des Uâdi Gharandel S. 106.

Figur 3. Halbzersprungenes Porphyrgeröll vom Râs Muhámmed S. 106.

Figur 4. Blättersalz (Querbruch) aus der Schuttebene südwestlich von Abû Roâsch S. 190.

Figur 5. Fasersalz aus dem Kloster St. Antonius S. 190.

Figur 6. Ausgehöhlte Rinde eines Kalkfelsens vom Dj. Turra S. 122.

Figur 7. Thon aus dem vertrockneten Bett des Uâdi Arabah, mit Regentropfenspuren bedeckt S. 181.

Figur 8. Kalkstein durch Kameltritte glatt poliert (pseudoglacialer Schliff) vom Aufstieg aus dem Uâdi Asbar nach dem Plateau der südlichen Galâla S. 101.

Figur 9. Durch Deflation herausmodellierte Pseudodiadema im Kreidekalk vor den Häusern von Abû Roâsch S. 37.

Tafel II.

Figur 1. Feuersteinkugel durch Insolation gesprengt mit secundären Sprungnarben aus dem Arabagebirge S. 107.

Figur 2. Kreisrunde Scherben von Feuerstein mit secundären Sprungnarben, die theilweise schon wieder durch Sand glatt geschliffen wurden, aus dem Kreidegebiet von Abû Roâsch S. 107.

Figur 3. 4. Jaspisstücke mit runden Sprungnarben, aus der Kieswüste westlich von den Pyramiden S. 107.

Figur 5. Jaspisgeröll mit kreisförmiger Sprungnarbe vom Ost-Plateau des Mokkatam S. 107.

Figur 6. Durch Insolation zersprengtes Feuersteingeröll vom Mokkatam S. 107.

Figur 7. 8. Durch Insolation in zwei Hälften zersprengtes Feuersteingeröll vom grossen versteinerten Wald S. 107.

Tafel III.

Figur 1. Grauer Sinaigranit aus dem Sand der Gaâwüste. Die im Sand versteckte untere Hälfte ist durch Verwitterung angegriffen, aber fest, die dem Beschauer zugekehrte obere Hälfte ist durch Insolation zerbröckelt S. 145.

Figur 2. Zerbröckelter rother Granit des Dj. Masraije S. 145.

Figur 3. Frische Bruchfläche des rothen Sinaigranit S. 145.

Figur 4. Kalk vom Uâdi Omm Ruthi, durch Desquamation oberflächlich in Schalen zerlegt S. 18.

Figur 5. Hohles Kalkgeröll aus dem Schotter des U. Ssannur S. 26.

Figur 6. Hohles Kalkgeröll aus der Kieswüste 10 Kilometer westlich von den Pyramiden S. 26.

Figur 7. Hohles Kalkstück, dessen obere Wand durch Verwitterung ganz abgetragen ist, so dass man in die ausgewitterte Höhlung hineinsieht, und den Gegensatz zwischen der Innen- und Aussenseite erkennen kann, aus dem Uâdi Guerraui S. 26.

Tafel IV.

Figur 1. Kalk von fast homogenem Querbruch, durch Sandgebläse corrodiert, zeigt auf der Oberfläche seine Zusammensetzung aus härteren und weicheren Schichten. Aus dem Uâdi Sidr S. 37 u. 94.

Figur 2. Nummulitenkalk der nördlichen Galâla, der längere Zeit dem (von rechts kommenden) Sandwind ausgesetzt war. Dadurch sind auf der rechten Seite die Nummuliten herausmodelliert, auf der linken Seite ist der Sand herabgelaufen und hat mäandrische Furchen eingeschliffen S. 94.

Figur 3. Dreikanter aus der Pyramidenwüste S. 102.

Figur 4. Älterer Korallenkalk des Râs Muhámmed, durch Sandgebläse corrodiert S. 94.

Figur 5. Grosser Dreikanter aus der Pyramidenwüste S. 102.

Figur 6. Facettengeröll (Dreikanter) ohne Kanten aus der Pyramidenwüste S. 102.

Tafel V.

Figur 1. 3. 9. Dreikanter aus der Pyramidenwüste S. 102.

Figur 2. Rundgeschliffene Feuersteinkugel vom grossen versteinerten Wald S. 100.

Figur 4. 5. 6. 7. Manganconcretionen aus Nubischem Sandstein des Arabagebirges S. 98.

Figur 8. Jaspisgeschiebe der Kieswüste vom grossen versteinerten Wald mit Firnissglanz S. 100.

Figur 10. Kalk mit härteren Zwischenschichten, welche durch Deflation (ohne Sandschliff) herausmodelliert wurden, vom Uâdi Asbar S. 37.

Tafel VI.

Figur 1. Fragment eines weissen erdigen Kalkblockes aus den Steinbrüchen von Turra. Die Oberseite zeigt die Spuren altägyptischer Meiselhiebe, welche im Laufe von 4000 Jahren mit der braunen Schutzrinde überzogen wurden S. 111 u. 116.

Figur 2. Quarzgeröll, auf der Oberseite gebräunt, unten hellfarbig, vom Dj. Nakûs S. 114 u. 115.

Figur 3. Feuerstein aus der Kreide östlich vor den Mauern des Kloster S. Antonius. Der frische Querbruch ist hellgrau. Die Unterseite rothbraun gefärbt S. 115.

Figur 4. Nummulitenkalk aus dem Uâdi Dugla. Die Oberfläche des hellen Kalkes ist gelb gefärbt. Die Nummuliten sind, soweit sie der Sonne ausgesetzt waren, dunkelbraun gefärbt, und ragen über die Gesteinsfläche hervor. Der untere Nummulit ist losgelöst von seinem Stiel und umgekehrt darauf gelegt, um das helle Innere zu zeigen S. 115.

Figur 5. 6. Ebensolcher Nummulitenkalk von Uâdi Dugla S. 115.

Figur 7. Ebensolcher Nummulitenkalk des Uâdi Ashar, nahe dem auf Fig. 22 abgebildeten Hügel S. 115.

Figur 8. Bruchstück eines Blockes von der Spitze der Cheopspyramide, dessen Oberfläche gebräunt ist S. 111 u. 116.

Tafel VII.

Wüstensandproben, photographiert auf einer halb schwarzen, halb weissen Unterlage. Die vorherrschend gelbe Farbe des Sandes lässt die Proben auf der Photographie dunkler erscheinen, als sie wirklich sind. Die Tafel soll die sehr verschiedene Korngrösse und Gestalt der Sandkörner zur Darstellung bringen. Es wurden daher extreme Proben gewählt. Am häufigsten ist der Sand der Fig. 3 u. 6.

Figur 1. Sand der Kieswüste am grossen versteinerten Wald, untermischt mit gerundeten Fragmenten von Kalk- und Kieselgesteinen S. 148.

Figur 2. Zerbröckelter Granitsand vom Dj. Masralje, bestehend aus scharfkantigen Stückchen von Quarz, rothem Feldspath, Glimmer und Hornblende S. 20. 145. 148.

Figur 3. Gelber Quarzsand von einer Düne nordwestlich von Abû Roâsch S. 148.

Figur 4. Glimmerhaltiger Sand von der Fig. 79 abgebildeten Düne (bei *a*) vom Dj. Burbäh S. 148 u. 152.

Figur 5. Sehr grobkörniger Quarzsand westlich von den Pyramiden S. 148.

Figur 6. Feinkörniger Granitsand vom Krên Utud, 100 m über der Wüstenebene S. 148.

Figur 7. Weissgelber Oolithsand von einer Düne an der Mündung des Uâdi Dehêêso S. 184.

Figur 8. Cerithiumsand aus der Lehmwüste vom Râs Sibylle S. 187.

Tafel VIII.

Figur 1. Gesprungenes Geröll aus dem Sandsteinconglomerat, in welchem die Baumstämme des grossen versteinerten Waldes eingebettet sind S. 132.

Figur 2. Sandgerundetes Stück des Dj. Achmar-Sandsteins mit Firnissglanz S. 100 (aus Versehen ist die andere Seite des Stückes, welche Abdrücke von Conchylien zeigt, nicht zur Darstellung gekommen).

Figur 3. Conglomeratischer Sandstein des grossen versteinerten Waldes S. 128 u. 132.

Figur 4. Scharfkantiges Fragment von versteinertem Holz aus dem Sandstein des Dj. Achmar S. 133 u. 134.

Figur 5. 7. Rothe Sinterröhren (Querbruch), von der Nordseite des Dj. Achmar S. 133.

Figur 6. Abguss (der Rinde?) des verkieselten Holzes vom grossen versteinerten Wald S. 127.

Index.

Die fettgedruckten Zahlen geben Kapitelüberschriften an.

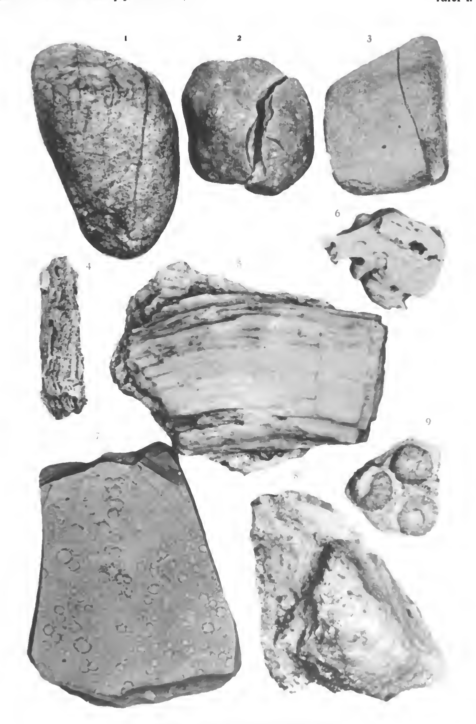
1. Sachregister.

2. Autorenregister.

3. Ortsregister.

D. = Djebel, Berg, Gebirge.
O. = Oase.
R. = Ras, Küstenvorsprung.
S. = Schott, Salzwüste.
U. = Uádi, Thal.
W. = Wüste.

Inhalt.

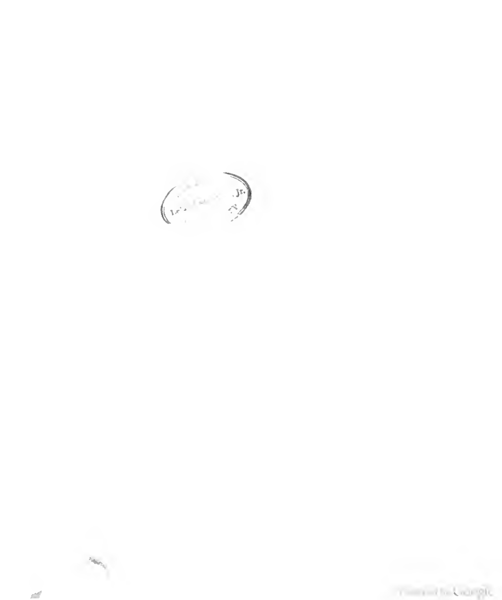


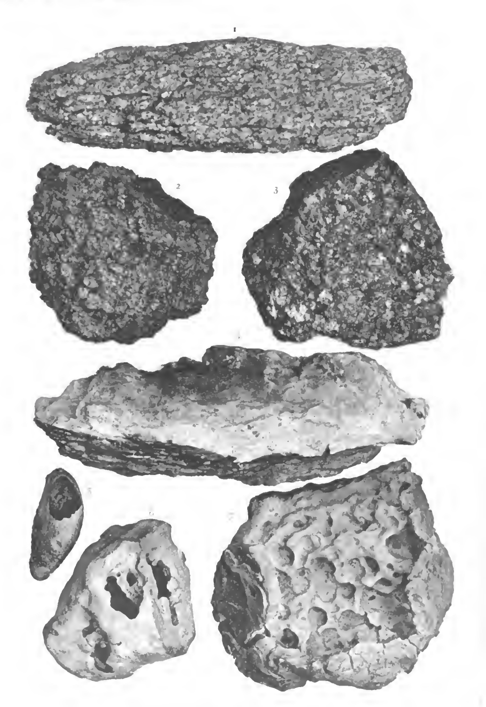
Verschiedene Wüsten-Erscheinungen.





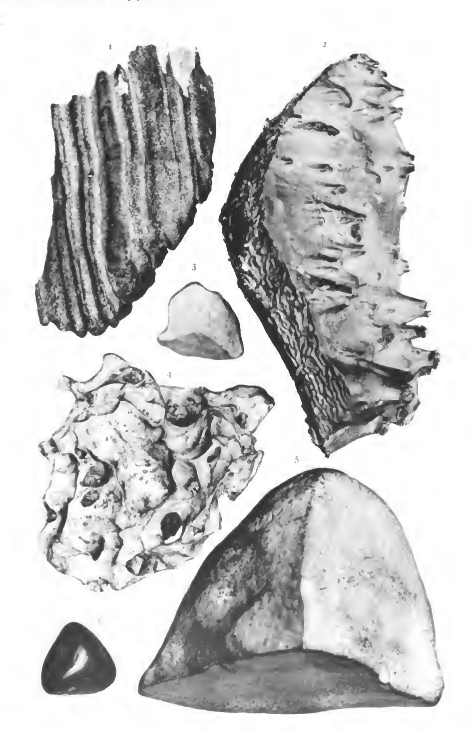
Insolation.





Zerbröckelung und Verwitterung.

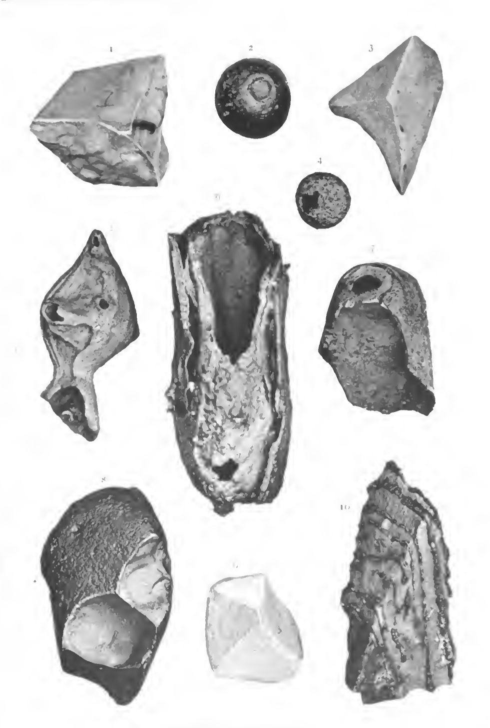




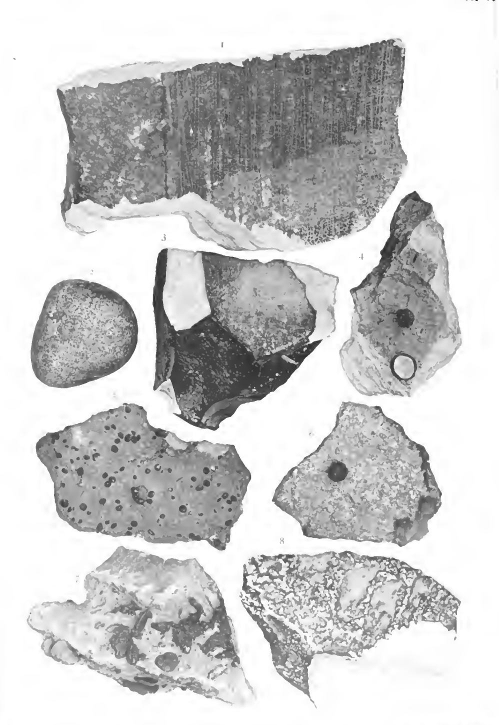
Sandschliffe.

Lichtdruck von Julius Klinkhardt, Leipzig



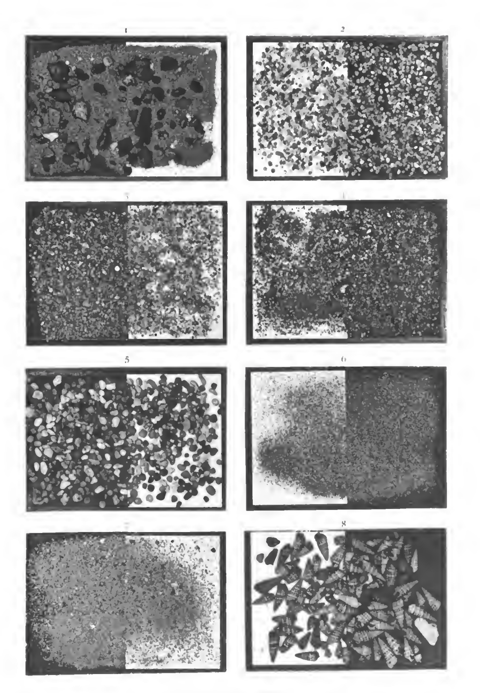


Sandschliff und Deflation.



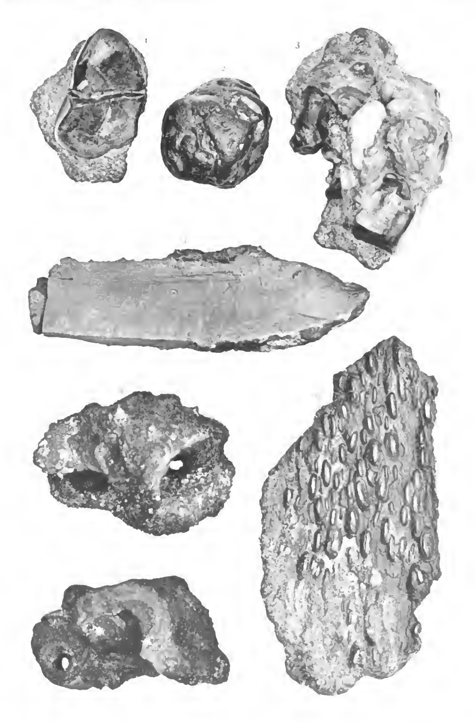
Die braune Schutzrinde.





Wüstensand-Proben.





Djebel Achmar und Versteinerter Wald.





